

Treball de Fi de Grau

Grau d'Enginyeria en Tecnologies Industrials

ESTUDI I DISSENY DEL SISTEMA DE CLIMATITZACIÓ I AIGUA SANITÀRIA D'UN HABITATGE

MEMÒRIA

Autor: Daniel Sanz López
Director: José María Morancho Llena
Convocatòria: Juny 2018



Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Industrial de Barcelona



Resum

En aquest treball s'ha buscat fer un estudi dels principis més bàsics de la termodinàmica i la transferència de calor, així com aprofundir en coneixements nous aplicat més directament als habitatges.

Prèviament s'havia pensat aprofitar la situació per fer un estudi en la implementació d'energies renovables, per buscar fer d'una casa ja existent, la més autosuficient possible. Per tant s'havia plantejat la generació elèctrica de la pròpia electricitat produïda a la casa, però després d'haver contemplat les condicions del projecte i de les diverses alternatives, sempre tenint en compte la normativa del país, s'ha arribat a la conclusió que seria més realista i sobretot, es podria aprofundir més si només es realitzés un disseny del sistema de climatització i de l'aigua sanitària de la casa. Per això s'han comprovat diverses alternatives de les quals més endavant es farà un contrast per decidir la més adient pel cas d'estudi, sempre intentant implementar el màxim percentatge de potència generada mitjançant fonts d'energia renovable.

Per dur a terme aquest estudi s'ha realitzat inicialment una valoració del funcionament d'una casa que funciona com a segona residència, així com les seves característiques físiques, per veure com es podrien fer millores per fer-la més eficient i compatible com a primera residència d'una família de quatre membres, cadascú amb les seves jornades laborals o estudiantils pertinents. A partir d'aquest estudi s'ha realitzat un càlcul general de les càrregues tèrmiques per saber la demanda d'energia calorífica necessària així com les condicions climàtiques, tant pel que fa a les ambientals com les irradiacions considerades posteriorment a l'aigua sanitària, a partir de la localització geogràfica de l'habitatge i les dades de tot l'any 2017. Per tant, després s'ha fet el càlcul del cicle termodinàmic, que treballi tant com a calefacció com a refrigeració, i de l'aigua sanitària que seria el que s'hauria de considerar en cas de ser implementat tot el sistema en un any posterior, sempre partint de les dades del 2017. S'ha fet també un estudi dels elements a triar per fer funcionar els circuits segons la seva funció, la instal·lació al llarg de tota la casa i un balanç energètic i elèctric general per comparar les millores en l'eficiència respecte el sistema de funcionament actual. Finalment s'han realitzat uns estudis de seguretat, pressupost i impacte ambiental per verificar la viabilitat del projecte i assegurar la possible implementació física en el futur.

Sumari

RESUM	1
SUMARI	2
1. PREFACI	5
1.1. Origen del projecte i motivació	5
1.2. Requeriments previs.....	5
2. INTRODUCCIÓ	6
2.1. Objectius del projecte	6
2.2. Abast del projecte	6
3. CONDICIONS CLIMÀTIQUES	7
4. PLÀNOLS DE LA CASA	10
5. FUNCIONAMENT ENERGÈTIC ACTUAL DE LA CASA	15
6. Càlcul de càrregues tèrmiques de l'habitatge	18
6.1. Càlcul teòric de càrregues tèrmiques d'un volum de control	19
6.2. Coses a tenir en compte en el full de càlcul.....	20
6.3. Resultats del càlcul de les càrregues tèrmiques	24
6.4. Conclusions dels resultats de les càrregues tèrmiques	28
7. COMPORTAMENT MECÀNIC I SEL·LECCIÓ DEL FLUID REFRIGERANT	29
8. AIGUA CALENTA SANITÀRIA	35
8.1. Determinació de l'acumulador	35
8.2. Determinació panell solar i rendiment	38
8.3. Càlcul potències termosolars i elèctriques	44
9. Càlcul del cicle termodinàmic	50
9.1. SELECCIÓ DE LA BOMBA.....	51
9.2. Seguretat en el cicle	53
9.3. Hipòtesis pel càlcul del cicle	53
9.4. RESULTATS DEL Càlcul DEL CICLE	55
10. SELECCIÓ DELS ACCESSORIS DE LES INSTAL·LACIONS	65
10.1. Selecció d'accessoris principals	65

10.2. Accessoris extres al cicle	68
10.3. Instal·lació	71
11. BALANÇ D'ENERGIA ELÈCTRICA CONSUMIDA	76
12. PRESSUPOST	82
13. IMPACTE AMBIENTAL	83
CONCLUSIONS	85
AGRAÏMENTS	86
BIBLIOGRAFIA	87

1. PREFACI

1.1. Origen del projecte i motivació

L'estudi del treball està basat en un habitatge ja existent, habitat per una família de quatre membres com a segona residència. Aquest és una casa unifamiliar situada en una urbanització prop de la costa a la comarca del Baix Empordà (municipi de Platja de Pals). Les característiques meteorològiques i climàtiques de la zona són força particulars i, per tant, es donen canvis bruscs de temperatures entre dies diferents o el dia i la nit que fan que un bon sistema de climatització sigui ja no per confort, si no necessari. El sistema de climatització actual de la casa és molt rudimentari. Com a conseqüència la calor generada per aquest no està transmesa uniformement al medi de la casa, donant lloc a habitacions molt fredes i altres de molt calentes, i això provoca unes males condicions de confort per part dels residents. Per altra banda a l'estiu no hi ha cap sistema de refrigeració i sumant-li l'excessiu cost en la generació d'aigua calenta, es va plantejar fer un estudi per trobar una millora a les condicions que es donaven. Una altra motivació a iniciar aquest projecte ha sigut l'alt valor de la tarifa fixa contractada per part de la xarxa elèctrica, que suposa una despesa innecessària i que podria ser rebaixada si es dissenyés un millor sistema de climatització o aigua sanitària. Fora d'això, actualment hi ha una forta voluntat per la implementació d'energies renovables, i aquest projecte seria una bona manera d'introduir-se en aquest món i fer un estudi de com podria funcionar l'aigua sanitària calenta mitjançant un sistema d'escalfament termosolar.

1.2. Requeriments previs

Per dur a terme el disseny d'aquest projecte són necessaris amplis coneixements de termodinàmica i de transferència de calor, així com també saber aplicar conceptes de mecànica de fluids pel que fa al flux dels fluids que intervenen al projecte. S'han de tenir coneixements bàsics de control automàtic per tenir una idea de com funcionarà de manera automàtica el sistema a desenvolupar, tot i no especificar-se amb detall, i un mínim coneixement de mecànica i ciències dels materials, a l'hora de considerar la seguretat i les dimensions de la instal·lació. Per altra considerar el coneixement en programes com és el cas del Solid Works per la creació dels plànols, o d'Excel per a diversos càlculs.

2. INTRODUCCIÓ

2.1. Objectius del projecte

Els principals objectius del projecte són els següents:

- Estudiar del sistema actual de climatització i aigua sanitària, així com la gestió de la potencia energètica consumida d'un habitatge existent.
- Calcular les càrregues tèrmiques al llarg de tot l'any 2017 per determinar la demanda energètica mensual de calefacció i refrigeració, aplicable en un futur.
- Implementar un nou sistema de climatització més adient per l'habitatge.
- Estudiar i maximitzar l'ús de fonts d'energia renovable.
- Reduir l'impacte ambiental pel que comporta a la generació d'energia calorífica.
- Disminuir la potència elèctrica consumida per tenir un consum més eficient i poder contractar una tarifa elèctrica fixa inferior.

2.2. Abast del projecte

En aquest projecte es pretén, de forma genèrica, millorar el sistema de climatització i aigua sanitària d'un habitatge, a base de reduir el consum d'energia elèctrica de la xarxa, millorant l'eficiència de la calefacció, optant per altres mètodes diferents de l'actual. Per altra banda també es vol millorar les condicions de confort, fent que el sistema de climatització treballi a una temperatura fixada ideal, de manera automàtica sense la intervenció de l'usuari, així com la instal·lació d'un dispositiu de refrigeració (actualment inexistent) per millorar el confort en els mesos més càlids de l'any. Per altra banda es pretén optar per les energies renovables fent ús de l'energia termosolar, pel que fa a l'escalfament d'aigua sanitària, la qual cobreixi la major part possible de l'energia a proporcionar. Per últim es pretén demostrar amb un estudi energètic la millora en el consum elèctric respecte al cas inicial i la possible contractació d'una tarifa fixa inferior a l'actual.

3. CONDICIONS CLIMÀTIQUES

Es farà inicialment un estudi exhaustiu de les temperatures i humitats durant tot un any per poder determinar la posterior demanda energètica pel que fa a la climatització, amb l'objectiu d'establir unes condicions climàtiques de confort estandarditzades (imposades per la legislació estatal vigent).

Per fer-ho s'han extret les dades climàtiques de l'estació meteorològica més propera, situada a l'Estartit (poble coster més proper amb condicions climàtiques pràcticament idèntiques). Aquest recull de dades s'ha fet a partir de totes les temperatures i humitats relatives mitjanes de cada mes al llarg de tot el 2017, per servir com a base sobre la qual es basaran els càlculs per la implementació posterior.

Com s'ha dit anteriorment les condicions climàtiques (principalment temperatures i humitats relatives) s'han extret de la pàgina Web de l'estació meteorològica de l'Estartit de Torroella de Montgrí. Això s'ha fet a partir del següent meteograma de l'any 2017 [1]:

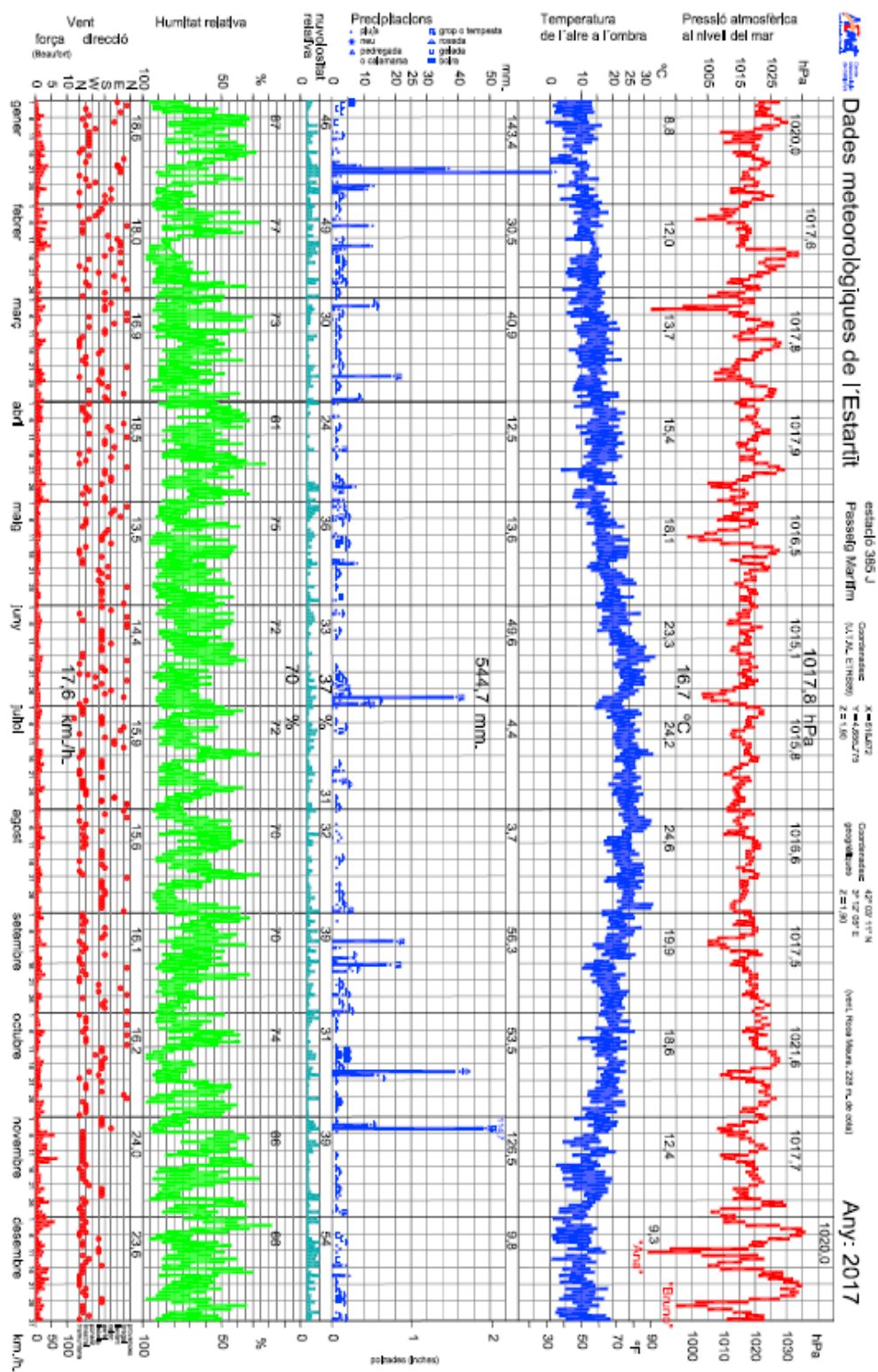


Figura 3.1. Meteograma 2017 de l'Estació meteorològica de l'Estació. [1]

D'aquí s'ha tret la següent taula que recopila la informació que interessa per aquest projecte:

Taula 3.1. Temperatures i humitats relatives mensuals mitjanes de l'estació meteorològica. [1]

Mes	Temperatura (°C)	Humitat relativa (%)
Gener	8,8	67
Febrer	12	77
Març	13,7	73
Abril	15,4	61
Maig	18,1	75
Juny	23,3	72
Juliol	24,2	72
Agost	24,6	70
Setembre	19,9	70
Octubre	18,6	74
Novembre	12,4	66
Desembre	9,3	66

4. PLÀNOLS DE LA CASA

La casa d'estudi en aquest projecte té les següents característiques externes que es presenten en les fotografies.



Figura 4.1. Vista del perfil de la cara Est.



Figura 4.2. Vista del perfil de la cara Nord.



Figura 4.3. Vista del perfil de la cara Oest.

La geometria de l'habitatge s'ha extret a partir d'uns plànols creats durant la construcció de la casa (l'any 1996) i de mesures posteriors. Els plànols són els següents:

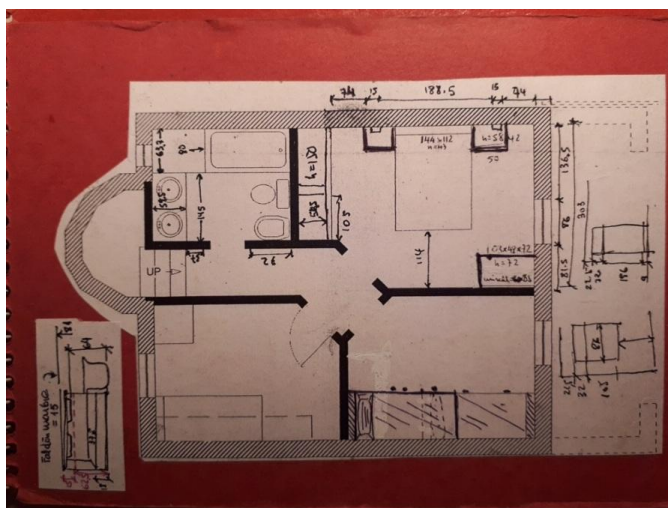


Figura 4.4. Planta superior.

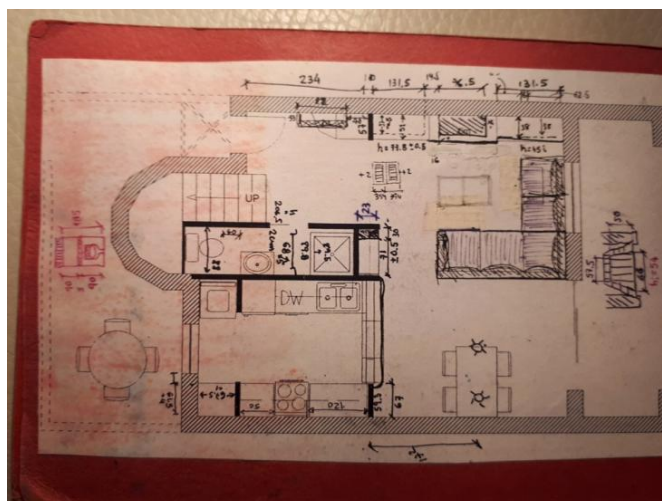


Figura 4.5. Planta inferior

Per altra banda els materials de les parets, sostre i forjats s'ha extret de les dades preses de la casa en el moment de la seva construcció que són les següents:

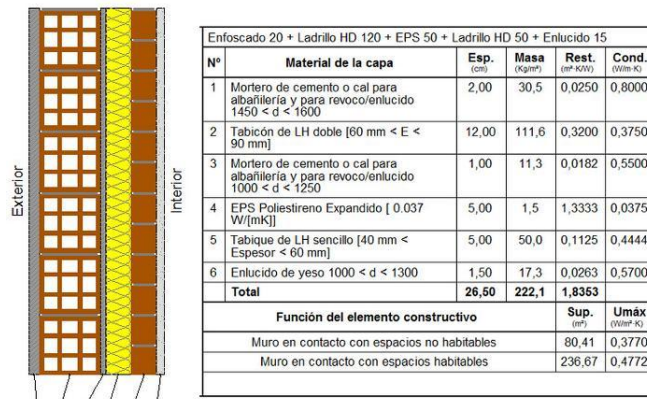


Figura 4.6. Perfil de la paret exterior amb tots els seus materials i dades. [Font pròpia]

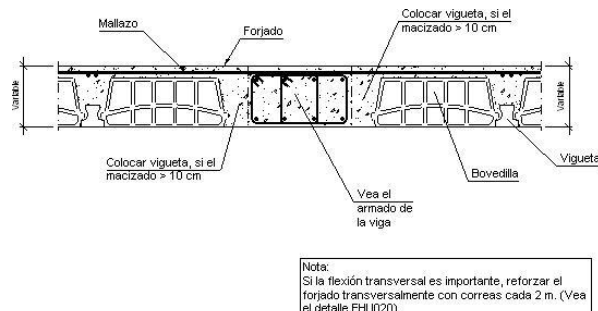


Figura 4.7. Perfil del forjat entre plantes. [Font pròpia]

Fora de les dades presents en els plànols s'han pres les mesures que faltaven més algunes de comprovació per poder traçar els plànols definitius amb el programa Sòlid Works d'ambdues plantes i les cares laterals (només Nord, Est i Oest ja que la cara Sud està en contacte directe amb els habitatges veïns). Els dissenys en Solid Works són els següents(unitats en [mm]):

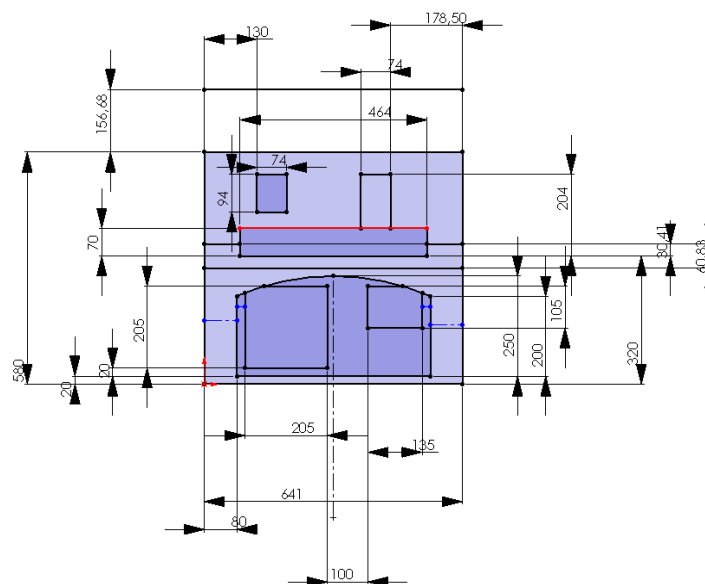


Figura 4.8. Perfil de la cara Est.

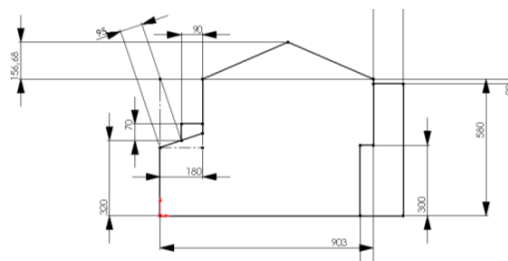


Figura 4.9. Perfil de la cara Nord.

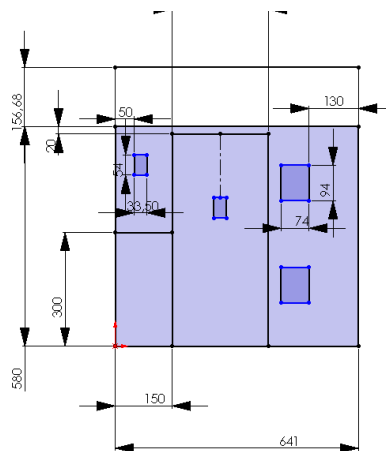


Figura 4.10. Perfil de la cara Oest.

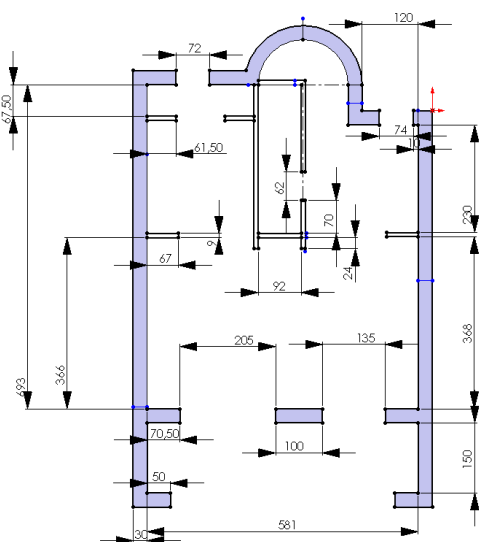


Figura 4.11. Planta de la planta.

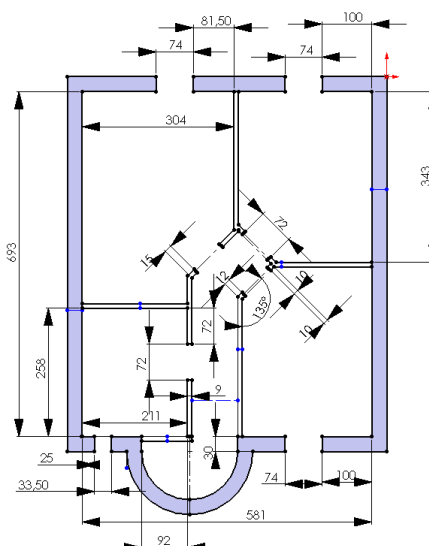


Figura 4.12. Planta del primer pis.

Altres dades d'interès calculades a partir dels plànols són:

- Àrea total (superfície de la casa): 81 m^2
- Volum total: 210 m^3
- Àrea paret cara Nord: $76,1 \text{ m}^2$
- Àrea paret cara Est: $32,8 \text{ m}^2$
- Àrea paret cara Oest: $43,5 \text{ m}^2$
- Àrea sostre: $45,8 \text{ m}^2$
- Amplada del marc de les finestres: 6,5 cm

5. FUNCIONAMENT ENERGÈTIC ACTUAL DE LA CASA

Actualment la casa té un consum purament elèctric. Tant l'escalfador d'aigua sanitària com la calefacció són elèctrics i no disposa de sistema d'aire condicionat.

- Escalfador d'aigua sanitària: El sistema d'escalfament d'aigua és elèctric i per tant suposa un consum de la xarxa elèctrica que es vol evitar, substituint-lo per altres més adients.
- Calefacció: El sistema de calefacció actual és força rudimentari. Està basat bàsicament en dos radiadors (Fig 5.1) de 1500 W de potència màxima consumida des de la xarxa elèctrica, els quals es poden situar a l'habitació que més convingui de la casa. Fora d'això, com que no són suficients, es disposa també d'una estufa funcionant amb combustió de querosè de 1900 W de potència nominal (Fig 5.2), la qual està situada permanentment a la sala d'estar. Aquest sistema fa que tot i escalfar bé les sales on estan disposats els mencionats elements, hi hagi un escalfament irregular al llarg de tot l'habitatge, fet que es pretén millorar en aquest projecte.
- Refrigeració: No es disposa de cap mecanisme d'aire condicionat, així com de ventilació forçada (únicament deguda a les renovacions d'aire a través de les finestres) que, tot i no ser necessari en moltes situacions, si que en convindria disposar al juliol i agost quan les temperatures s'eleven molt i sobretot s'experimenta una forta sensació de calor degut a l'alta humitat.

La potència elèctrica contractada és la màxima admesa en les condicions de la casa (**6,6 kW**) a la companyia ENDESA, valor que pot ser considerat innecessari en un habitatge habitat únicament per 4 persones i de dimensions no gaire grans.

Per tant els motius que es pretén prendre com a objectiu a l'hora de dissenyar aquest canvi en la climatització i la gestió d'aigua sanitària són els següents:

- Reducció del consum mensual de la xarxa elèctrica per tal de reduir els costos en electricitat i poder contractar una potència elèctrica fixa inferior.
- Millora de la climatització de la casa per garantir un millor confort en totes les èpoques de l'any.

- Optar per les energies renovables amb l'objectiu de fer la casa energèticament més autosuficient i demostrar una possible i correcta implementació en el cas d'estudi.



Figura 5.1. Radiador que escalfa una habitació individual.



Figura 5.2. Estufa de querosè situada a la sala d'estar.

Per altra banda també es tenen els electrodomèstics de la casa, que cal tenir en compte pel calor que cedeixen a l'entorn per efecte Joule a l'hora de calcular les càrregues tèrmiques, i també pel seu consum elèctric a fi de fer el balanç elèctric final quan estigui implementat el nou sistema de climatització i aigua sanitària. Les seves característiques són les següents:

- Radiador: Ufesa Mod PU 8/15 **P = 1500 W** (cada un)
- Estufa de querosè: Inverter 5003 **P engegada = 380W, P mantenir = 32 W, P: (P nom = 1900W P variable = 700 – 3100 W)**
- Forn/Cuina: Ieka **P nominal = 2593 W, P màxima = 9693 W / P fogó = 950 W – 1500 W** (cada un)
- Rentaplats: Bosch Silence Plus **P = 2000 – 2400 W**

- Rentadora: Electrolux Inspiro (7 kg speed focus) **P = 2200 W**
- Microones: Balay **P mitjana = 800 W, P màxima = 1200 W**
- Televisió: Oki Model O – 26B – PHI **P = 100 W**
- Campana: Orbegezo **P = 270 W**
- Nevera: Lynx **I = 1,6 A, P = 160 W**
- Escalfador d'aigua: **P = 1600 W**
- Bombetes: Hi ha 29 bombetes en total (dos de **P = 13 W** (menjador), una de **150 W** (menjador), una de **50 W** (menjador) i la resta de **5 W**)

**Tensions compreses entre 220 i 230 V en tots els electrodomèstics a una freqüència de 50 Hz.*

Fent un balanç de tots els electrodomèstics i les llums s'han buscat models de casa similars i s'ha agafat com a valor prou representatiu el d'aproximadament 650 W de potencia calorífica cedida a l'entorn.

També s'ha tingut en compte el calor corporal que desprenen les persones que hi habiten, que pren un valor aproximat de 130 W per persona variant una mica si es tracta d'home o dona i el pes corporal (hi habiten 3 homes i una dona tots adults).

A partir dels valors suposats de potència calorífica cedida, el full de càlcul ja et calcula, a partir de les dades introduïdes, els valors exactes tenint en compte tant calor sensible com latent i acaba donant una mitjana de:

- P calorífica de les 4 persones (mitjana) = 258 (sensible) + 154 (latent) W = **412 W**
- P calorífica d'aparells electrònics (mitjana) = 224 (llums) + 404 (electrodomèstics) W = **628 W**
- P calorífica de les 4 persones (màxima) = 312 (sensible)+ 184 (latent) W = **496 W**
- P calorífica d'aparells electrònics (màxima) = 243 (llums) + 405 (electrodomèstics) W = **648 W**

Veient que els resultants obtinguts mitjançant el full de càlcul dels electrodomèstics i llums (648 W) s'assemblen bastant als suposats inicialment (650 W), es donen per bons.

6. Càlcul de càrregues tèrmiques de l'habitatge

Per realitzar el càlcul general de tota la casa ha sigut necessari l'ús d'un programa o full de càlcul, que donés uns resultats amb la suficient exactitud per ser representatius de la situació real.

S'han buscat i estudiat diversos programes però fora de l'abast d'un estudiant de la universitat sense accés a la llicència d'aquests, i després d'una valoració s'ha escollit fer servir un full de càlcul que tingués en compte tots els paràmetres a tenir i prioritant que es tinguessin ben en compte les inèrcies tèrmiques a partir dels salts tèrmics entre hores més fredes i més càlides entre el dia i la nit, així com una bona distinció entre el calor sensible (degut a les diferències de temperatura) i el calor latent (degut a la humitat). Finalment s'ha pogut trobar un full de càlcul prou bo que inclou tots aquests aspectes, materials i dimensions de la casa amb exactitud, etc amb el que s'ha valorat realitzar els càlculs.

Aquest és un full Excel de la *Universitat Politècnica de València* extret de la pàgina web d'Acteyr [2]. La interfície del full és la següent:

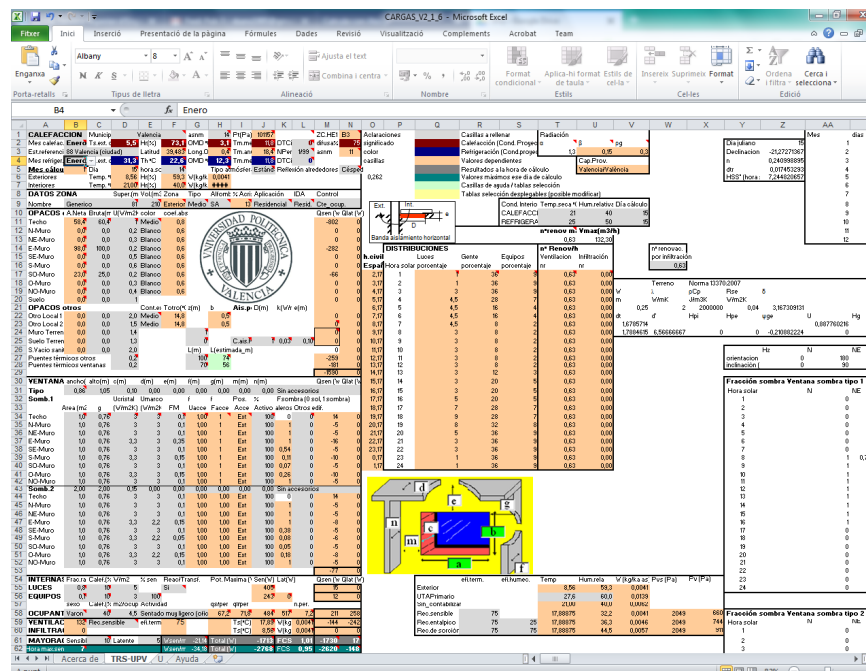


Figura 6.1. Interfície de la pàgina principal del full de càlcul Acteyr [2]

6.1. Càlcul teòric de càrregues tèrmiques d'un volum de control

El càlcul de les càrregues tèrmiques es farà amb les equacions bàsiques de la transferència de calor que es mostren a continuació. En el full de càlcul estan implícites totes aquestes equacions en els càlculs que realitza. Les equacions són les següents [3]:

- Equació de potència per convecció (Eq. 1):

$$\dot{Q}_{convecció} = h_{conv} \cdot A \cdot (T_C - T_F)$$

- Equació de potència per conducció en superfície plana (Eq. 2):

$$\dot{Q}_{conducció_plana} = \lambda_{cond} \cdot A \cdot \frac{T_C - T_F}{\delta}$$

- Equació de potència per conducció en superfície cilíndrica (Eq. 3):

$$\dot{Q}_{conducció_cilíndrica} = h_{conv} \cdot 2 \cdot \pi \cdot L \cdot (T_C - T_F) / \ln\left(\frac{D_{ext}}{D_{int}}\right)$$

- Equació de potència per radiació (Eq. 4):

$$\dot{Q}_{radiació} = \varepsilon \cdot A \cdot \sigma \cdot (T_C^4 - T_F^4)$$

- Equació de difusió (Eq. 5):

$$\nabla T^2 + \frac{\dot{q}}{\lambda} = \frac{1}{\alpha} \cdot \frac{\partial T}{\partial t}$$

- Balanç de potències en un sistema de control (energia acumulada) (Eq. 6):

$$\frac{dE_{acumulada}}{dt} = \dot{q}_e - \dot{q}_s + \dot{q}_{gen}$$

- T_C / T_F : Temperatura del focus calent/fred [K].
- h_{conv} : Coeficient de convecció del fluid [W/m^2].
- λ_{cond} : conductivitat tèrmica del material [W/m].
- \dot{q} : Potència per generació interna (generació elèctrica, reacció química,...) [W].
- δ : Gruix del material [m].
- A : Àrea en contacte amb el fluid [m^2].
- L : Longitud del material [m].

De manera teòrica es consideraran les hipòtesis de terra adiabàtic, calor per radiació dels elements de l'entorn negligible (no la solar), la potència va de focus calent a focus fred i volum de control tancat on es realitzaran balanços de superfície per extreure temperatures (Eq. 1, 2, 3, 4, i 6) i balanç de volum per tenir en compte la generació tèrmica interior (Eq. 5 i Eq. 6).

De la última equació (Eq. 6) es trauria que, un cop arribat a l'estat estacionari, l'energia acumulada seria nul·la, i per tant la potència generada (és la que interessa, ja que és la que ha de realitzar l'aparell de calefacció o aire condicionat per arribar a la temperatura fixada) seria igual a la resultant entre la d'entrada i la de sortida, que són els valors que calcularà el programa i a partir dels quals es treballarà

6.2. Coses a tenir en compte en el full de càlcul

Hi ha molts paràmetres que s'han de determinar en el full perquè realitzi els seus càlculs:

- Localització del municipi d'estudi (es pot escollir entre els ja predeterminats o introduir un particular, en el qual s'han de indicar les seves latitud, longitud i alçada sobre el nivell del mar).
- Introducció de les dades meteorològiques (temperatures i humitats mitjanes de cada mes assumint un percentil del 99%).
- Dimensions de les àrees (m^2) de cada cara de la casa (nord, sud, est, oest, nordest, nordoest, sudest i sudoest) així com també del sostre i d'edificis complementaris, superfície interior total i volum (Fig. 4.11 i Fig 4.12).

- Color de les superfícies (blanc, marró, etc) per tenir en compte el calor per radiació, amb emissivitats ja predeterminades en el full (Eq. 4).
- Determinació dels materials de parets exteriors, interiors, forjats, sostres, etc amb les conductivitats tèrmiques també pertanyents al propi Excel (Fig. 4.6).
- Àrees ocupades per les finestres per cada cara de l'habitatge, així com tipus de vidre, percentatge de marc/vidre, dimensions, etc.
- Temperatures i humitats desitjades per calefacció i refrigeració.
- Nombre de renovacions d'aire per dia i mecanisme.
- Nombre d'ocupants de mitjana (homes o dones).
- Potència cedida per llums i electrodomèstics per efecte Joule.
- Altres paràmetres com tipus d'atmosfera, tipus de terra del voltant, accessoris extres com cortines, catifes, aïllaments perimetrals, etc.

L'apartat d'elecció dels materials és del següent estil, amb les dades dels materials de la casa, així com els seus gruixos introduïts:

				Conductividad	Espesor (Fijo)	Espesor	Resist.	Térmica	Factor resist.
				W/mK	m	m	m ² K/W		vapor agua (adj)
Pared exterior 1									
Exterior U (W/m ² K) 0,69 CTE Umax (W/m ² K) 1 Cumple Umax Nocondensa capa 1 capa 2 capa 3 capa 4 capa 5 capa 6 capa 7 capa 8 capa 9 capa 10 Interior	Coef. Convección exterior						0,04		
	Morteros			Mortero cemento o cal (alb+revoco/enlucido) 1450-d<1600			0,8		
	Fábrica de ladrillo			Tablón de LH doble Gran Formato 60 mm < E < 90 mm			0,212		
	Morteros			Mortero cemento o cal (alb+revoco/enlucido) 1000-d<1250			0,55		
	Aislante			EPS Poliestireno Expandido (0,037 W/mK)			0,0375		
	Fábrica de ladrillo			Tabique de LH sencillo [40 mm < Espesor < 60 mm]			0,445		
	Yesos			Yeso, de alta dureza 900 < d < 1200			0,43		
							0,04		
							0,14		
							0,01		
						0,02			
						0,07			
						0,05			

Figura 6.2. Materials i cotes de la casa introduïts al full de càlcul amb els coeficients ja presents en el propi Excel [2].

Per cada part de la casa (paret exterior, paret interior, sostre, etc) se li especifica els gruixos de cada capa i els materials pels quals està formada d'entre una llista de tots els materials disponibles amb els seus coeficients de conducció tèrmica predeterminats:

Aislante	Aislante1	EPS Poliestireno Expandido (0,029 W/mK)	0,029	30	1000	20	0,02
Aislante	Aislante2	EPS Poliestireno Expandido (0,037 W/mK)	0,0375	30	1000	20	0,02
Aislante	Aislante3	EPS Poliestireno Expandido (0,046 W/mK)	0,046	30	1000	20	0,02
Aislante	Aislante4	XPS Expandido con dióxido de carbono CO2 (0,034 W/mK)	0,034	37,5	1000	100	0,02
Aislante	Aislante5	XPS Expandido con dióxido de carbono CO2 (0,038 W/mK)	0,038	37,5	1000	100	0,02
Aislante	Aislante6	XPS Expandido con dióxido de carbono CO2 (0,042 W/mK)	0,042	37,5	1000	100	0,02
Aislante	Aislante7	XPS Expandido con hidrofluorocarbonos HFC (0,025 W/mK)	0,025	37,5	1000	100	0,02
Aislante	Aislante8	XPS Expandido con hidrofluorocarbonos HFC (0,032 W/mK)	0,032	37,5	1000	100	0,02
Aislante	Aislante9	XPS Expandido con hidrofluorocarbonos HFC (0,039 W/mK)	0,039	37,5	1000	100	0,02
Aislante	Aislante10	MW Lana mineral [0,031 W/mK]	0,031	40	1000	1	0,02
Aislante	Aislante11	MW Lana mineral [0,04 W/mK]	0,04	40	1000	1	0,02
Aislante	Aislante12	MW Lana mineral [0,05 W/mK]	0,05	40	1000	1	0,02
Aislante	Aislante13	PUR Proyección con Hidrofluorcarbono HFC (0,028 W/mK)	0,028	50	1000	60	0,02
Aislante	Aislante14	PUR Proyección con CO2 celda cerrada (0,032 W/mK)	0,032	50	1000	100	0,02
Aislante	Aislante15	PUR Proyección con CO2 celda cerrada (0,035 W/mK)	0,035	50	1000	100	0,02
Aislante	Aislante16	PUR Plancha con HFC o Pentano y rev. permeable (0,027 W/mK)	0,027	45	1000	60	0,02
Aislante	Aislante17	PUR Plancha con HFC o Pentano y rev. Impermeab. (0,03 W/mK)	0,03	45	1000	60	0,02
Aislante	Aislante18	PUR Plancha con HFC o Pentano y rev. Impermeab. (0,025 W/mK)	0,025	45	1000	1.00E+30	0,02
Aislante	Aislante19	PUR Inyección en tabiquería con dióxido de carbono CO2	0,04	17,5	1000	20	0,02
Aislante	Aislante20	Arçilla Expandida (árido suelto)	0,148	537,5	1000	1	0,02
Aislante	Aislante21	Panel de perlita expandida (EPB) (>60%)	0,062	190	1000	5	0,2
Aislante	Aislante22	Panel de vidrio celular (CG)	0,05	125	1000	1.00E+30	0,02
Bituminosos	Bituminosos1	Asfalto	0,7	2100	1000	50000	0,02
Bituminosos	Bituminosos2	Asfalto arenoso	0,15	2100	1000	50000	0,02
Bituminosos	Bituminosos3	Betón puro	0,17	1050	1000	50000	0,02
Bituminosos	Bituminosos4	Betón fletro o lámina	0,23	1100	1000	50000	0,02
Cauchos	Cauchos1	Butadieno	0,25	980	1000	100000	0,02
Cauchos	Cauchos2	Butilo (butileno) compacto/colado en caliente	0,24	1200	1400	200000	0,02
Cauchos	Cauchos3	Caucho celular	0,06	70	1500	7000	0,02
Cauchos	Cauchos4	Caucho natural	0,13	910	1100	10000	0,02
Cauchos	Cauchos5	Caucho rígido (ebonita) sólido	0,17	1200	1400	1.00E+30	0,02
Cauchos	Cauchos6	Etileno propileno dieno monímero (EPDM)	0,25	1150	1000	5000	0,02
Cauchos	Cauchos7	Neopreno (poliisopreno)	0,23	1240	2140	10000	0,02
Cauchos	Cauchos8	Polisulfuro	0,2	930	1100	10000	0,02
Cauchos	Cauchos9	Polisulfuro	0,4	1700	1000	10000	0,02
Cerámicos	Cerámicos1	Azuque cerámico	1,3	2300	940	1.00E+30	0,02
Cerámicos	Cerámicos2	Plaqueta o baldosa cerámica	1	2000	800	30	0,02
Cerámicos	Cerámicos3	Plaqueta o baldosa de gres	2,3	2500	1000	30	0,02
Cerámicos	Cerámicos4	Taja de arcilla cocida	1	2000	800	30	0,02
Cerámicos	Cerámicos5	Gres cuarzo 2600 < d < 2000	1	2000	800	30	0,02
Cerámicos	Cerámicos6	Gres(silíce) 2200 < d < 2590	2,3	2350	1000	30	0,02
Cerámicos	Cerámicos7	Gres calcáreo 2000 < d < 2700	1,9	2350	1000	20	0,02
Enlucidos	Enlucidos1	Enlucido de yeso 1000<d<1300	0,57	1150	1000	6	0,02
Enlucidos	Enlucidos2	Enlucido de yeso d<1000	0,4	900	1000	6	0,02
Enlucidos	Enlucidos3	Enlucido de yeso aislante 500<d<600	0,3	750	1000	6	0,02
Enlucidos	Enlucidos4	Enlucido de yeso aislante 500<d<600	0,16	550	1000	6	0,02
BCArcilla	BCArcilla1	BC con mortero convencional espesor 140 mm	0,443	1170	1000	10	0,14
BCArcilla	BCArcilla2	BC con mortero convencional espesor 190 mm	0,443	1180	1000	10	0,19
BCArcilla	BCArcilla3	BC con mortero convencional espesor 240 mm	0,424	1190	1000	10	0,24
BCArcilla	BCArcilla4	BC con mortero convencional espesor 290 mm	0,421	1080	1000	10	0,29
BCArcilla	BCArcilla5	BC con mortero aislante espesor 140 mm	0,324	1020	1000	10	0,14
BCArcilla	BCArcilla6	BC con mortero aislante espesor 190 mm	0,306	910	1000	10	0,19
BCArcilla	BCArcilla7	BC con mortero aislante espesor 240 mm	0,298	920	1000	10	0,24
BCArcilla	BCArcilla8	BC con mortero aislante espesor 290 mm	0,295	910	1000	10	0,29
BHAligerado	BHAligerado1	BH aligerado mezclo espesor 200 mm	0,287	840	1000	10	0,2

Figura 6.3. Llistat dels materials introduïts en el full de càlcul, ordenats segons el tipus, amb les seves propietats [2].

Finalment, un cop entès el funcionament del full de càlcul, s'han introduït les següents dades per realitzar el càlcul:

- Com a temperatures desitjades s'han imposat 21 °C per calefacció i 25 °C per refrigeració, directament extretes de la normativa espanyola vigent.
- Les parets són totes blanques per tant s'ha escollit una emissivitat de 0,6 extreta del programa, excepte el sostre que és de ceràmica color marró clar i s'ha imposat una emissivitat de 0,8.
- La posició geogràfica de la casa és, extreta de Google Maps, de 41,99° de latitud i 3,19° de longitud així com a 14 m sobre el nivell del mar, valors introduïts a l'Excel.
- Les àrees de les cares exterior mencionades abans, així com el volum total del recinte interior i la superfície del terra.
- L'àrea de les finestres per cada cara així com les seves mesures i el percentatge de marc d'alumini envers el vidre.
- Les temperatures i humitats extretes de l'estació meteorològica també citades anteriorment imposant el percentil del 99%.

- % d'ocupació de persones respecte la superfície de la casa del 20,25% (homes i dones) i nivell d'activitat d'aquests, escollint la opció asseguts de manera molt lleugera.
- Potències emeses per electrodomèstics i llums, citades també anteriorment.
- Materials de les parets (citats també anteriorment) exterior i interior, forjat i sostre.
- Accessoris extres com cortines (no hi ha), catifes (tampoc hi ha) o superfícies exterior (gespa).

Un cop introduïts tots els paràmetres s'ha calculat la potència necessària de calefacció i de refrigeració (tan la mitjana com la màxima tenint en compte la caiguda de temperatura a la nit i l'augment al migdia) que es necessitaria cada dia número 15 de cada més, canviant la humitat per cada cas a la que pertoca.

CALEFACCION		Municipic	Pals	asnm	14	Pt(Pa)	101157	ZC.HE1	B3	Aclaraciones				
Mes calefac.	Enero	Ts. ext. di	5	Hr(%)	67	OMD °C	3,1	Tm. mes	8,8	DTCi	0	difusa%	75	significado
Est. referencia	95 Particular	Latitud °	41,99	Long. Oe	3,2	Tm. anual	16,7	NPer	1/99	asnm	14	color		
Mes refriger.	Enero	Ts. ext. di	31,3	Th °C	22,6	OMD °C	12,3	Tm. mes	8,8	DTCi	0	casillas		
<u>Mes calculo</u>	1	Dia	15	hora sole	14	Tipo atmósfera	Estándar	Reflexión alrededores	Césped			0,1534		
Exteriores	Temp. °C	8,08	Hr(%)	54,2	W(kg/kg)	0,0036								
Interiores	Temp. °C	21,00	Hr(%)	40,0	W(kg/kg)	0,0062								
DATOS ZONA														
		Super. (m² Vol. (m3)			Zona	Tipo	Alfombr: %	Acris Aplicación	IDA	Control				
Nombre	Generico	81	210	Exterior	Medio	SA	6	Particular1	Resid.	Cte. ocup.				
OPACOS ext														
A. Neta(r Bruta(m2 U(W/m2K color		coef. abs								Qsen (W Qlat (W				
Techo	45,8	45,8	1	Medio	0,8					-654	0			
N-Muro	76,1	76,1	0,2	Blanco	0,6					-227	0			
NE-Muro	0,0	0,0	0,3	Blanco	0,6						0			
E-Muro	25,1	32,8	0,2	Blanco	0,6					-75	0			
SE-Muro	0,0	0,0	0,5	Blanco	0,6						0			
S-Muro	0,0	0,0	0,6	Blanco	0,6						0			
SO-Muro	0,0	0,0	0,2	Blanco	0,6						0			
O-Muro	41,8	43,5	0,3	Blanco	0,6					-187	0			
NO-Muro	0,0	0,0	0,4	Blanco	0,6						0			
Suelo	0,0	0,0	1								0			
OPACOS otros														
		Cont. ext Totro(°C) z(m)		b	Ais. peri D(m)		k(W/n e(m)							
Otro Local 1	0,0	0,0	2,0 Medio	14,5	0,5					0	7,36	6		
Otro Local 2	0,0	0,0	1,5 Medio	14,5	0,5					0	8,36	7		
Muro Terreno	0,0	0,0	1,4		0,5					0	9,36	8		
Suelo Terreno	100,0	100,0	1,3		0	C. ais. H: 1 0,03 0,10				-358	0	10,36	9	
S. Vacio sanit	0,0	0,0	2,0		L(m)	L(estimada_m)				0	11,36	10		
Puentes térmicos otros		0,2			100	128				-269	0	12,36	11	
Puentes térmicos ventanas		0,2			70	23				-188	0	13,36	12	
										-1958	0	14,36	13	
VENTANAS														
ancho(r alto(m)		c(m)	d(m)	e(m)	f(m)	g(m)	m(m)	n(m)			Qsen (W Qlat (W	15,36	14	

Figura 6.4. Exemple de les dades introduïdes per la calefacció al Gener [2].

VENTANAS											Qsen (W Qlat (W)			15,36	14	10
Tipo	ancho(n	alto(m)	c(m)	d(m)	e(m)	f(m)	g(m)	m(m)	n(m)	0,00	Sin accesorios	16,36	15	10		
Somb.1	0,74	0,94	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	17,36	16	10			
	Area (m2	g	Ucristal	Umarco	f	f	Pos.	%	Fsombra (0 sol, 1 sombra)	18,36	17	10				
		(W/m2K)	(W/m2K)	FM	Uacce	Facce	Acce	Activo	aleros Otros edif.	19,36	18	10				
Techo	0,0	0,76	3	3	0,1	1,00	1	Ext	100	0	0	0	0	20,36	19	10
N-Muro	0,0	0,76	3	3	0,1	1,00	1	Ext	100	1	0	0	0	21,36	20	10
NE-Muro	0,0	0,76	3	3	0,1	1,00	1	Ext	100	1	0	0	0	22,36	21	10
E-Muro	0,0	0,76	3,3	2,2	0,35	1,00	1	Ext	100	1	0	0	0	23,36	22	10
SE-Muro	0,0	0,76	3	3	0,1	1,00	1	Ext	100	0,31	0	0	0	0,36	23	10
S-Muro	0,0	0,76	3,3	2,2	0,15	1,00	1	Ext	100	0,06	0	0	0	1,36	24	10
SO-Muro	0,0	0,76	3	3	0,1	1,00	1	Ext	100	0,04	0	0	0			
O-Muro	1,8	0,76	3	5	0,29	1,00	1	Ext	0	0,15	0,1	-39	0			
NO-Muro	0,0	0,76	3	3	0,1	1,00	1	Ext	100	1	0	0	0			
Somb.2	2,05	2,05	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Sin accesorios						
Techo	0,0	0,76	3	3	0,1	1,00	1,00	Ext	100	0	0	0	0			
N-Muro	0,0	0,76	3	3	0,1	1,00	1,00	Ext	100	1	0	0	0			
NE-Muro	0,0	0,76	3	3	0,1	1,00	1,00	Ext	100	1	0	0	0			
E-Muro	7,7	0,76	3,3	2,2	0,146	1,00	1,00	Ext	0	1	0,2	-85	0			
SE-Muro	0,0	0,76	3	3	0,1	1,00	1,00	Ext	100	0,12	0	0	0			
S-Muro	0,0	0,76	3,3	2,2	0,05	1,00	1,00	Ext	100	0,02	0	0	0			
SO-Muro	0,0	0,76	3	3	0,1	1,00	1,00	Ext	100	0,02	0	0	0			
O-Muro	0,0	0,76	3,3	2,2	0,15	1,00	1,00	Ext	0	0,06	0	0	0			
NO-Muro	0,0	0,76	3	3	0,1	1,00	1,00	Ext	100	1	0	0	0			
											-124	0				

INTERNAS	Frac.rac Calef.(% W/m2	% sen	Reac/Transf.	Pot. Maxima (W Sen(W)	Lat(W)	Qsen (W Qlat (W)					
LUCEs	0,8	10	3	Si	243	22					
EQUIPOS	0,2	10	5	100	405	40					
	sexo	Calef.(% m2/ocup	Actividad	qs/per	ql/per	n.per.					
OCUPANTES:Media	50	20,25	Sentado muy ligero (oficin	65,2	58,8	130	118	2	108	118	
VENTILACIO	0	Exterior									
INFILTRACIO	132										
MAYORAC.% Sensibi	10	Latente	5	Wsen/m2	-36,43	Total (W)	-2951	FCS	0,936	-2762	-189
Hora max.sen	7			Wsen/m2	-46,11	Total (W)	-3735	FCS	0,922	-3443	-292

Exterior

UTAPrimario

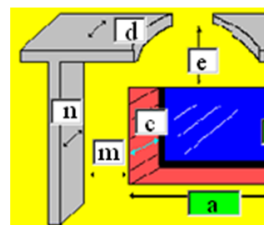
Sin_contabilizar

Rec.sensible

Rec.entalpico

Rec.de sorción

eff. term.



Exterior	efi. term.
UTAPrimario	
Sin_contabilizar	
Rec.sensible	
Rec.entalpico	
Rec.de sorción	

Figura 6.5. Exemple de resultats obtinguts per la calefacció al Gener [2].

6.3. Resultats del càlcul de les càrregues tèrmiques

A l'hora determinar si es necessita calefacció o refrigeració per cada més s'han observat detingudament cada una de les temperatures al meteograma per cada mes, i s'han agrupat en funció de si són majors de 20°C, majors de 25°C, majors de 30°C o menors de 20°C. Això s'ha fet tant per les temperatures màximes com les mínimes ja que, en cas que es necessités calefacció o refrigeració tot el dia sí que es treballaria amb la temperatura mitjana, però si hi ha fortes diferències entre les hores de Sol i la nit, i per tant només es pretén que el cicle treballi en unes hores del dia, la temperatura que es considerarà serà una diferent de la mitjana. Es per això que calculant valors mitjans, tenint en compte un petit percentatge de dies imprevistos en quan a climatologia (s'han considerat un màxim de 3 dies que no compleixin el requisit, que no siguin representatius), s'ha determinat una diferència entre temperatures diürnes i nocturnes (les quals s'han determinat al migdia sobre les 14 hores i a la nit sobre les 22 hores) de 8°C. Per tant, en el cas que només es faci funcionar la calefacció durant la nit es considerarà una temperatura exterior 4 graus inferior a la mitjana, i el mateix en el cas que s'utilitzi la refrigeració només a les hores càlides del dia, que es considerarà una temperatura exterior 4 graus superior a la mitjana. Òbviament, en aquests casos la potència del compressor final es calcularà al llarg de tot el

dia (incloses les hores en les quals no treballa), per tant el valor serà inferior.

A continuació es presenta la taula d'interval·ls de temperatures per cada mes, amb la qual es decidirà el cicle que es realitzarà:

Taula 6.1. Rangs de temperatures de cada mes [1].

MES	TEMPERATURES MÀXIMES (°C)				TEMPERATURES MÍNIMES (°C)	
	-20	20 - 25	25 - 30	+30	-20	20 -25
Gener	31	0	0	0	31	0
Febrer	28	0	0	0	28	0
Març	25	5	0	0	31	0
Abril	17	13	0	0	30	0
Maig	8	20	3	0	31	0
Juny	0	10	17	3	16	14
Juliol	0	4	25	2	4	27
Agost	0	7	19	5	6	25
Setembre	1	22	7	0	29	1
Octubre	2	28	1	0	31	0
Novembre	27	3	0	0	30	0
Desembre	31	0	0	0	31	0

A partir de les següents dades obtingudes del meteograma s'ha decidit realitzar les següents configuracions:

- Calefacció dia i nit: Gener, Febrer, Març, Abril, Novembre, Desembre
- Calefacció per la nit: Maig, Setembre, Octubre
- Refrigeració la meitat dels dies (15 dies) 6 hores al dia (11-17 hores): Juny, Juliol i Agost
- Calefacció la meitat de les nits (15 dies): Juny

Amb les dades que s'han introduït el resultat de les càrregues tèrmiques definitives són els següents:

Taula 6.2. Potència necessària per refrigeració i calefacció de cada mes en W.

Calefacció				Refrigeració			
Mitjana (W)		Màxima (W)		Mitjana (W)		Màxima (W)	
sensible	latent	sensible	latent	sensible	latent	sensible	latent
-2762	-189	-3443	-292	-	-	-	-
-2590	-123	-3308	-224	-	-	-	-
-2470	-149	-3217	-251	-	-	-	-
-2363	-229	-3116	-332	-	-	-	-
-2245	-136	-3005	-238	-	-	-	-
-2058	-156	-2805	-258	3142	565	3249	537
-	-	-	-	3278	643	3378	614
-	-	-	-	3139	643	3248	614
-2246	-169	-2996	-271	-	-	-	-
-2343	-143	-3069	-245	-	-	-	-
-2618	-196	-3316	-298	-	-	-	-
-2766	-196	-3433	-298	-	-	-	-

Que tenint en compte totes dues potències (latent i sensible) és tenen unes potències globals de:

Taula 6.3. Potència necessària per refrigeració i calefacció de cada mes en W.

Mes	Calefacció		Refrigeració	
	Mitjana (W)	Màxima (W)	Mitjana (W)	Màxima (W)
Gener	-2951	-3735	-	-
Febrer	-2713	-3533	-	-
Març	-2620	-3469	-	-
Abril	-2593	-3448	-	-
Maig	-2381	-3243	-	-
Juny	-2214	-3063	3707	3786
Juliol	-	-	3921	3999
Agost	-	-	3782	3862
Setembre	-2415	-3268	-	-
Octubre	-2486	-3313	-	-
Novembre	-2814	-3615	-	-
Desembre	-2962	-3731	-	-

6.4. Conclusions dels resultats de les càrregues tèrmiques

- A primera vista es pot veure com les diferències de demanda de calefacció entre mesos freds i els més càlids que en necessiten és força considerable. Tot i així a mesos com Maig Juny i Setembre, el valor és prou alt, però degut a la diferència tèrmica entre el dia i la nit a la zona, fet que impulsarà repartir la calefacció únicament a les hores de verdadera necessitat.
- Per altra banda tenint en compte que, en el moment de màxima necessitat, actualment està sent escalfada amb dos radiadors elèctrics de 1500 W de potència tèrmica màxima cada un i una estufa de querosè amb una potència calorífica nominal de 1900 W, suposen uns resultats lògics. Per una banda aquests sistemes de calefacció són més que suficients per escalfar la casa en els seus moments més freds comparant amb la dada de la potència calorífica màxima de Gener (es necessiten aportar 3735 W en calefacció), ja que sumant potències dels radiadors i l'estufa funcionant a alt rendiment s'obté $1500 + 1500 + 1900 = 4900$ W, valor totalment suficient per cobrir la demanda energètica. El problema és que aquesta potència no s'aplica de manera uniforme a la casa, fet que fa que tardi en escalfar-se fins arribar a l'estat estacionari i allarga l'estat transitori de la transferència de calor, degut a la poca distribució dels focus de generació de potència calorífica (únicament provenen de l'estufa a la sala d'estar, i els radiadors a dues de les tres habitacions). Per tant el balanç global de potència pot ser el desitjat però es té una temperatura molt superior a la desitjada a les habitacions on estan situats els radiadors i l'estufa, mentre que la resta de la casa segueix estant a una temperatura inferior. Degut a que l'objectiu és tenir una temperatura constant al llarg de tota la casa, s'impulsarà a distribuir els condensadors al llarg de tota ella perquè s'arribi ràpidament a l'estat estacionari i l'escalfament sigui uniforme a la temperatura desitjada.
- Tot i que actualment no hi ha cap sistema de refrigeració instal·lat, fora de la obertura de finestres, es veu que si que és necessari instal·lar-ne un pels mesos més càlids, si es vol mantenir la casa a la temperatura de confort escollida. Es buscarà també que part del cicle de calefacció pugui ser aprofitable pel sistema de refrigeració i així simplificar la instal·lació.

7. COMPORTAMENT MECÀNIC I SEL·LECCIÓ DEL FLUID REFRIGERANT

Un aspecte important del projecte ha estat escollir el fluid refrigerant que circularà pel cicle termodinàmic, tant en refrigeració com en calefacció. Les sol·licitacions que es donen a l'hora d'escollir aquest fluid són diverses:

- Bones propietats termodinàmiques: Bàsicament es busca que tingui un alt calor específic i calor latent, per garantir que gran part del calor que s'obté es transfereixi en els bescanvis de calor en el cicle, i així augmentar l'eficiència i, indirectament, l'estalvi econòmic.
- Toxicitat: S'ha de tenir en compte que, considerant que circularà per una zona on hi viu gent de manera regular (no és una zona industrial o aïllada de vida humana), s'ha d'intentar reduir el màxim possible el nivell de toxicitat en cas de fuga, per generar el mínim perill possible.
- Inflamabilitat i detonació: Un altre aspecte a tenir en compte és el grau de que aquest, en contacte o presència d'una font de calor que li aporti un canvi brusc de temperatura, pugui inflamar-se o fins i tot detonar. Aquest fet és crucial sobretot tenint en compte que hi ha força elements a la casa que podrien portar a aquestes situacions com són la cuina o aparells lumínics.
- Preu i disponibilitat: Ha de ser un fluid de fàcil accés, abundant al mercat i no gaire car a l'hora de ser reemplaçat en cas de mal funcionament del circuit. Fora d'això, el càlcul amb aquest ha de ser accessible, i per tant, tenir unes dades i propietats fàcilment disponibles.
- Medi ambient: Es prioritzarà (tenint en compte que la reducció de l'impacte ambiental és un dels objectius principals del projecte) que complint totes les propietats que facin falta, tingui un mínim impacte en l'efecte hivernacle i en la destrucció de la capa d'ozó en el cas de ser alliberat a l'atmosfera en cas de fuga.
- Funcionament mecànic: S'ha d'assegurar la correcta circulació del fluid a través del circuit, presentant les propietats mecàniques adients i, a més a més, uns estats mecànics que comportin un intercanvi tèrmic òptim i funcional per permetre els càlculs realistes i coherents del cicle, a l'hora de tenir en compte l'intercanvi real de calor.

Un cop estudiades totes les sol·licitacions, s'ha fet un estudi i comparació dels que compleixen millor les sol·licitacions mencionades, i no ha estat fàcil degut a que tots tenen algun punt feble que fa que no es compleixi al 100% alguna de les sol·licitacions, i és per això que, a partir de les alternatives més viables, s'ha fet una valoració de les sol·licituds més imprescindibles a l'hora d'escollir la opció més adient pel cas present, a partir de les seves fitxes tècniques trobades a la pagina web de Gas Servei [4].

S'ha puntuat cada factor amb un valor del 1 al 5, segons la seva importància en el projecte, per fer una suma global i així escollir la millor opció. A continuació es presenta la taula de comparació i quantificació d'alternatives:

Taula 7.1. Taula de comparativa d'alternatives segons factors principals [4].

Sol·licitacions	Grau d'impacte	r134 a	Propà	Isobutà	CO2
Propietats termodinàmiques	0,15	3	3	3	2
Toxicitat	0,25	5	4	4	5
Inflamabilitat/Detonació	0,15	5	1	1	5
Preu i disponibilitat	0,1	5	3	2	4
Medi ambient	0,15	2	2	4	4
Funcionament mecànic	0,2	5	2	2	1
SUMA	1	4,25	2,6	2,8	3,5

Veient els resultats del càlcul es poden treure algunes conclusions a partir de raonar els resultats. És cert que la opció triada té una contribució lleugerament significativa a l'escalfament global, ja que, observant la seva fitxa tècnica, es pot veure com té un índex d'escalfament global GWP de 3 (igual que el propà) [4], enfront a 1 tant per l'isobutà com CO₂ [4] (recordar que és un valor relatiu que pren com a referència el diòxid de carboni). Tot i això no va més enllà contribuint de manera totalment nul·la a la destrucció de la capa d'ozó i, per altra banda, proporciona grans avantatges en els altres factors. El tret més important que l'ha verificat com la millor opció d'estudi, són les seves magnífiques propietats físiques, ja que presenta un punt de fusió a temperatures ideals per permetre un canvi de fase en els bescanviadors tant en refrigeració com en calefacció, sempre a pressions totalment suportables (fet que no es donava en els altres casos, sobretot pel que fa al CO₂, que amb el seu punt de fusió a -57°C [4] s'havia d'augmentar excessivament la pressió per produir-se evaporació). També, per altra banda, no té cap grau de toxicitat ni inflamació (fet que ha contribuït en la no elecció dels hidrocarburs, tant isobutà com propà) i presenta prou bones propietats termodinàmiques, tant en calor sensible com en canvi de fase.

Per tant s'ha iniciat la verificació del comportament mecànic del r134 a, per assegurar-se que pot funcionar com el fluid de treball desitjat.

VERIFICACIÓ DEL FLUID I CARACTERÍSTIQUES DEL FLUX

Vistos els resultats, abans d'iniciar els càlculs termodinàmics és necessari verificar que mecànicament el fluid es mou com toca, perquè tant el funcionament estructural, acústic i l'intercanvi tèrmic siguin els adients. Això ho farem basant-nos principalment en el càlcul del cabal que hi circula, així com una secció del tub adient per donar velocitats factibles, i el càlcul del seu nombre de Reynolds que determinarà el comportament del flux del fluït. Per tant es partirà d'uns punts de referència que s'intentaran complir al màxim:

- Nombre de Reynolds ha de ser plenament turbulent en l'estat gasós del fluid, per així tenir un millor intercanvi de calor a través de les canonades i amb els diversos elements del cicle, així com assolir molt més ràpidament el règim estacionari, tant de perfil de velocitat com de perfil de temperatura.
- El cabal no ha de ser gaire elevat per tal de complir amb la normativa vigent, pel que fa al manteniment estructural i funcional del cicle (impedir excessos de pressions o esforços tallants a les parets de les canonades que puguin provocar desgast, deformacions o escletxes que donin lloc a fugues, fora de garantir un bon funcionament en el compressor) i a les possibles vibracions acústiques que han de ser minimitzades tot el que es pugui tenint en compte que es troba en una zona en contacte directe amb habitants.

Pel càlcul del cabal s'ha partit del cabal estàndard que es fa servir a la major part de les instal·lacions d'aquest tipus que és de 2 L/s [5] i del diàmetre de tubs més usual de 2,5 cm² [5]. Per tant s'ha fet alguna prova en el cicle per determinar el flux màxim necessari per garantir un cabal suficientment proper a aquest valor i que, per tant, compleixi amb els requisits mencionats anteriorment. Per altra banda el nombre de Reynolds s'ha considerat que haurà de tenir un valor igual o superior a 10000 [3] per haver acabat la seva transició des de règim laminar a totalment turbulent. Això es calcularà amb les fórmules següents:

- Eq. 7:

$$Q = A_{tub\ int.} \cdot v_{m_fluït}$$

- Eq. 8:

$$Re = \frac{D_{int} \cdot v_{m_fluït}}{\frac{\mu}{\rho}}$$

Q = Cabal del fluid [m^3/s].

Re = Nombre de Reynolds del fluid.

μ = viscositat dinàmica del fluid en cada estat i condicions estàndard [$Pa \cdot s$].

ρ = densitat del fluid en l'estat corresponent (kg/m^3).

v = velocitat mitjana del fluid del seu perfil de velocitats en una secció del tub [m/s].

D_{int} = Diàmetre interior del tub [m].

El motiu pel qual interessa tenir un règim turbulent és degut a que, com que el perfil de velocitats varia a la vegada que el de temperatures, s'arriba abans al règim estacionari:

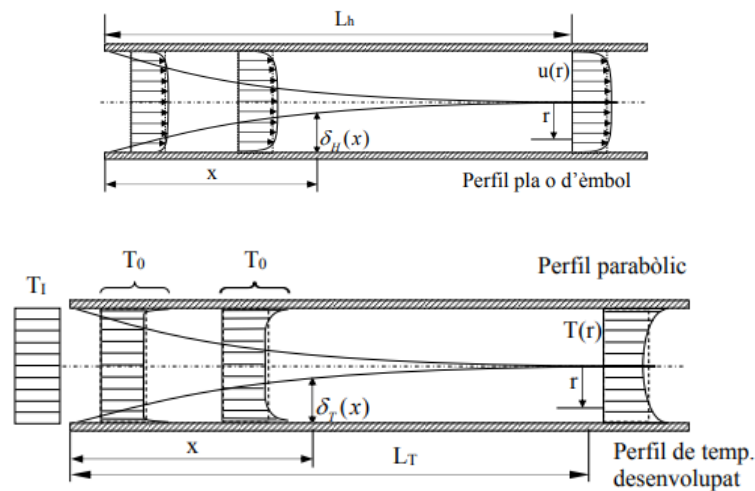


Figura 7.1. Evolució del règim transitori a l'estacionari del perfil de velocitats (primera) i del de temperatures (segona) [3].

- T_1 : Temperatura a la que entra el fluid en el bescanviador [K].
- $T(r)$: Perfil de temperatures quan el flux ja està desenvolupat [K].

- L_H : Longitud que recórrer el fluid dins el tub abans d'assolir el règim estacionari [m].

Es pot fer servir les aproximacions a continuació (Eq.9 i Eq.10) per veure la longitud que necessita en estacionar [4]:

$$L_{H_laminar} = 0,056 \cdot Re \cdot D$$

$$L_{H_turbolent} = 10 \cdot D$$

Es pot comprovar ràpidament que és múltiples vegades més petita en el turbulent, així que en un tub de dimensions normals (2,5 cm² per exemple, com s'ha mencionat anteriorment) la longitud on es té règim transitori serà menyspreable respecte la longitud total del tub considerant un intercanvi constant com si fos sempre estacionari.

Provant diversos valors finalment s'ha donat amb uns que compleixen bé els requisits mecànics i tèrmics (vist en apartats posteriors, apartat 9). Per tant, per un flux màssic de **0,02 kg/s**, es té un cabal de **0,0038 m³/s**, un valor força proper al pres com a referència. D'aquí es treu, mitjançant la Eq. 7, una velocitat mitjana en l'estat gasós de:

$$0,0038 = \pi \cdot \frac{0,025^2}{4} \cdot v_{gas} \quad v_{gas} = 7,74 \text{ m/s}$$

Pel que fa al nombre de Reynolds (Eq.8) en estat gasós a partir de la velocitat anterior:

$$Re_{gas} = \frac{0,025 \cdot 7,74}{\frac{12 \cdot 10^{-6}}{5,25}} = 84656,25$$

Si es mira en els instants en els quals està en estat líquid, com es parteix de la hipòtesi basada en el balanç màssic de que el flux màssic es conserva, aquest seguirà sent de 0,02 kg/s però el cabal o flux volumètric, degut al canvi de densitat a 1206 kg/m³, passarà a valdre $1,66 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ i els nous valors seran els següents:

$$1,66 \cdot 10^{-5} = \pi \cdot \frac{0,025^2}{4} \cdot v_{gas} \quad v_{liquid} = 0,034 \text{ m/s}$$

$$Re_{líquid} = \frac{0,025 \cdot 0,034}{\frac{2,02 \cdot 10^{-4}}{1206}} = 5074,75$$

Seguint els mateixos passos, s'han calculat els valors mecànics del fluid treballant en refrigeració, el qual té un flux màssic de **0,03 kg/s**. Són els següents:

$$Q_{gas} = 0,0057 \text{ m}^3/\text{s} \quad v_{gas} = 11,61 \text{ m/s} \quad Re_{gas} = 126984,38$$

$$Q_{líquid} = 2,49 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s} \quad v_{líquid} = 0,05 \text{ m/s} \quad Re_{líquid} = 7462,87$$

Com es pot veure en els resultats mai s'arriba a unes velocitats suficientment altes com perquè es produeixin excessives vibracions per pertorbar l'equilibri acústic del sistema, i sempre dins la normativa [5]. Pel que fa en el tram en el qual s'arriba a l'estat líquid, aquest passa a tenir una velocitat molt baixa però tenint en compte que amb prou feines s'arribarà al punt de saturació i després, a l'entrada a la vàlvula d'expansió, s'iniciarà de nou el canvi de fase a vapor, no estarà suficientment temps com per poder perdre velocitat i arribar-se a l'estanqueïtat, per tant no suposa un problema. Tot i així es situarà una bomba volumètrica a la sortida del condensador en cas que es detecti algun punt d'estanqueïtat entre aquest i l'entrada a la vàlvula en algun moment.

Pel que fa als règims del flux, queda demostrat que l'estat gasós (que és en el que s'està més temps) és totalment turbulent, per tant el perfil de velocitats dins el tub serà el desitjat i hi haurà un millor intercanvi calorífic, minimitzant les pèrdues tèrmiques en els bescanviadors. Novament en l'estat líquid no es compleix aquesta condició però sí que dóna un valor per sobre de l'inici de la transició de laminar a turbulent ($Re > 2300$) [3], sobretot en la refrigeració, per tant el flux haurà començat a adoptar la forma posterior així que, pels motius que s'han explicat anteriorment, com que només es té líquid en un moment puntual pel que fa a l'intercanvi tèrmic (final del condensador) el nombre de Reynolds aniria en augment de seguida en l'entrada en l'evaporador pel que l'intercanvi tèrmic s'acostaria més al desitjat. A més a més, tenint en compte que amb les proves amb els altres fluids ni tan sols es donava la condició de turbulència en el cas del gas, és clarament l'opció que s'adapta millor a la desitjada, per tant la verificació s'ha donat per bona.

Vistes les condicions que es presenten, el **r134 a** ha estat l'escollit com el fluid de treball en el cicle.

8. AIGUA CALENTA SANITÀRIA

Pel que fa a la generació d'aigua sanitària, s'ha intentat potenciar l'ús d'energies renovables. És per això que es pretén instal·lar un sistema d'escalfament termosolar, mitjançant col·lectors plans convencionals que cobreixi el màxim de la demanda de potència calorífica que necessita l'aigua per escalfar-se a temperatures desitjades, basat en la gestió de dutxes diàries bàsicament.

Això es pretén fer mitjançant l'ús d'un acumulador de calor que mantingui l'aigua prèviament escalfada (tant pel col·lector com per sistemes elèctrics en cas de ser necessaris), a una temperatura lleugerament superior a la que es pretendrà tenir a les dutxes posteriors, amb equilibri tèrmic amb l'ambient exterior. Per mantenir millor aquesta temperatura i que, mitjançant un bon aïllament, no faci falta molta potència aportada perquè la temperatura d'aquesta no baixi, es situarà l'acumulador a l'interior de la casa, la qual estarà com a una temperatura de 21°C (com a valor mínim) i a sobre constant, facilitant d'aquesta manera els càlculs.

8.1. Determinació de l'acumulador

Primer de tot s'ha determinat la quantitat d'aigua necessària per una dutxa per determinar el volum de l'acumulador i els posteriors càlculs de cabals de buidatge i ompliment. Això s'ha fet de manera experimental, obrint l'aixeta al règim de cabal habitual omplint un dipòsit de 10 L exactes el qual ha estat omplert en 1 minut i 16 segons. D'aquí es pot treure que el cabal mitjà de la dutxa és de 0,132 L/s.

Per altra banda s'han cronometrat quatre dutxes per saber quant temps està la canonada extraient aigua i ha donat una mitjana de 3 minuts i 41 segons. Arrodonint, per donar un cert marge de seguretat en cas de variabilitat, s'ha considerat que cada dutxa serà de 4 minuts de duració, en la qual circula cabal d'aigua de 0,132 L/s.

Per tant si es busca la relació entre aquest dos valors:

$$m_{aigua/du} = Q_{aigua/du} \cdot t_{dutxa} \cdot \rho_{aigua} = 0,000132 \frac{m^3}{s} \cdot 4 \cdot 60 s \cdot 1000 \frac{kg}{m^3} = 31,68 Kg$$

Es troba que es gasten aproximadament 32 L per dutxa, sent un total de 128 L en tot un dia.

S'ha decidit implementar un acumulador de calor de 150 L (1 m d'alt i radi del cilindre de

0,219 m) de capacitat màxima amb un aïllament estàndard de 5 cm de gruix de paret [6], el qual estarà format per 5 mm d'acer estructural a la paret interior i 5mm més a l'exterior amb una capa d'aïllant poliuretà de 4 mm entre les dues planxes metàl·liques, per reduir les pèrdues de calor. Pel que fa al volum, ha estat escollit en base del que es gasta en una dutxa tenint en compte que són quatre dutxes cada dia que es realitzen abans de que sigui alimentat de nou, considerant un petit marge d'aigua extra per si de cas, funcionament que s'explica més endavant en aquest apartat. Com bé s'ha mencionat, aquesta estarà situat dins l'habitatge per poder estar a una temperatura constant entre 21 i 25 °C depenent del règim de treball del cicle, i així reduir les pèrdues en cas que la temperatura exterior sigui freda.

Per últim s'ha acordat imposar una temperatura de l'aigua dins l'acumulador de 45°C considerant que la temperatura màxima de l'aigua en una dutxa seria de 40 °C considerant doncs, un cert coeficient de seguretat en cas de pèrdues excessives o un mal dimensionament. Aquesta aigua en obrir-se la vàlvula sortiria a l'exterior (dutxa) a través de la canonada a la temperatura de l'acumulador o, en cas de voler-se inferior, aquesta es regularia amb un intercanvi directe a base de la mescla amb l'aigua ambiental provinent de les canonades, segons la temperatura que es vulgui tenir. Aquí s'hi hauria d'implementar un sistema de control per fer-ho precís i disposar de la temperatura desitjada dins el rang possible (entre 20 i 45 °C). En el projecte es considerarà tota l'aigua sortint a la màxima temperatura de 45°C a l'hora de realitzar els càlculs.

També s'havia contemplat el fet de que l'aigua calenta que surt de l'acumulador no entrés en contacte directe amb la freda de les canonades, i es fes mitjançant un bescanviador de tubs sense mescla, però es perdria eficiència, degut a les pèrdues per conducció dels tubs, i s'hauria de treballar a temperatures de l'acumulador superiors que potser no es podrien assolir amb la instal·lació present.

Els càlculs de pèrdues per aïllament amb aquesta configuració estan mostrats a continuació, mitjançant un balanç de superfície a cada cara de cada material diferent de les parets del dipòsit (Eq. 1, 2 i 3):

$$\begin{aligned}
A_{int} \cdot h_{aigua} \cdot (T_{int} - T_1) &= \frac{T_1 - T_2}{\ln\left(\frac{D_{ext_acer1}}{D_{int_acer1}}\right)} \cdot 2 \cdot \pi \cdot \lambda_{acer} \cdot (L_{int} + \delta_{acer}) + \frac{T_1 - T_2}{\delta_{acer}} \cdot \lambda_{acer} \cdot A_{base} \\
&= \frac{T_2 - T_3}{\ln\left(\frac{D_{ext_poli}}{D_{int_poli}}\right)} \cdot 2 \cdot \pi \cdot \lambda_{poli} \cdot (L_{int} + \delta_{acer} + \delta_{poli}) + \frac{T_1 - T_2}{\delta_{poli}} \cdot \lambda_{poli} \cdot A_{base} \\
&= \frac{T_3 - T_4}{\ln\left(\frac{D_{ext_acer2}}{D_{int_acer2}}\right)} \cdot 2 \cdot \pi \cdot \lambda_{acer} \cdot (L_{int} + 2 \cdot \delta_{acer} + \delta_{poli}) + \frac{T_1 - T_2}{\delta_{acer}} \cdot \lambda_{acer} \cdot A_{base} \\
&= A_{ext} \cdot h_{aire} \cdot (T_4 - T_{ext})
\end{aligned}$$

Les variables i els seus valors són les següents (alguns valors de propietats poden variar i s'han agafat aproximats:

A_{int} : Àrea interior del cilindre [m^2] = 1,527

A_{ext} : Àrea exterior del cilindre [m^2] = 1,572

A_{base} : Àrea de la base sense comptar el gruix de les parets [m^2] = 0,151

L_{int} : Alçada de la cavitat interior de l'acumulador [m] = 1

δ_{acer} : Gruix de cada xapa d'acer [m] = 0,005

δ_{poli} : Gruix de la capa de poliuretà [m] = 0,04

h_{aigua} : Coeficient de convecció de l'aigua [$W/m^2 \cdot K$] = 700 (en estar parat i ser convecció natural a les temperatures presents) [3]

h_{aire} : Coeficient de convecció de l'aire [$W/m^2 \cdot K$] = 10 (en estar parat i ser convecció natural a les temperatures presents) [3]

λ_{acer} : Conductivitat tèrmica de l'acer [$W/K \cdot m$] = 50

λ_{poli} : Conductivitat tèrmica del poliuretà [$W/K \cdot m$] = 0,02

T_{int} = Temperatura de l'aigua dins l'acumulador [$^{\circ}C$] = 45

T_1 = Temperatura a la superfície interior de la xapa d'acer en contacte amb l'aigua (acer1) [$^{\circ}C$] = 45

T_2 = Temperatura de la superfície entre l'acer 1 i el poliuretà [$^{\circ}\text{C}$] = 45

T_3 = Temperatura de la superfície entre el poliuretà i l'acer 2 [$^{\circ}\text{C}$] = 45

T_4 = Temperatura a la superfície exterior de la xapa d'acer en contacte amb l'aigua (acer2) [$^{\circ}\text{C}$] = 45

T_{ext} = Temperatura de l'aire dins la casa [$^{\circ}\text{C}$] = 21 (en calefacció) i 25 (en refrigeració)

**Els diàmetres estan trets del radi interior mencionat abans sumant-li el gruix de cada capa.*

Fent el càlcul per les dues temperatures exteriors (21 i 25°C) es tenen els següents resultats:

Taula 8.1. Temperatures de les superfícies de l'acumulador i potència perduda per aïllament.

	Refrigeració	Calefacció
T_1 [$^{\circ}\text{C}$]	44,985	44,981
T_2 [$^{\circ}\text{C}$]	44,983	44,98
T_3 [$^{\circ}\text{C}$]	26,054	22,265
T_4 [$^{\circ}\text{C}$]	26,053	22,264
Potència aïllament (q_a) [W]	16,034	20,31

Més tard es veurà que, en ser tan petita la potència per pèrdues d'aïllament respecte la necessària per escalfar de nou l'aigua, no farà falta variar el resultat final i només s'operarà amb la de calefacció per ambdós casos.

8.2. Determinació panell solar i rendiment

A l'hora de determinar l'energia termosolar que li arriba al fluid caloportador cal tenir en compte els conceptes bàsics de radiació a partir dels coneixements de la transferència de calor [3]. Fent un estudi exhaustiu, s'ha determinat que de la irradiació solar que arriba a l'atmosfera, que ve determinada per la constant solar (1.362 kW/m^2), una gran part de la irradiació es perd per absorció i reflexió amb els gasos de l'atmosfera, així com després en ser reflectida per la superfície terrestre, la qual no és retornada a la troposfera degut a l'efecte hivernacle de l'atmosfera, també es perd. Per tant, amb prou feines no arriba ni la meitat (49%) de la irradiació solar incident provinent del poder emissiu del Sol. Si a més es té en compte la col·locació del Sol respecte la franja horària, la variació entre hivern i estiu i la variació d'aquesta entre el dia i la nit, i la banda incident en les longitud d'ones

acceptades, només una petita part és realment aprofitable. Aquestes dissipacions i reorientacions de la irradiació captada per l'atmosfera es poden veure en la Figura 8.1:

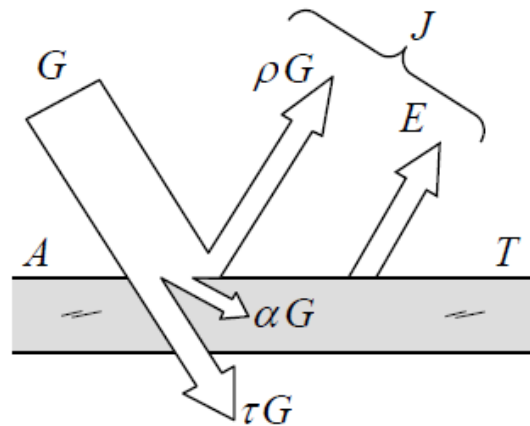


Figura 8.1. comportament de la incidència de la radiació sobre una superfície del punt A al T [3].

Com es pot veure en la imatge mostrada, tota potència incident a una superfície queda determinada pels següents paràmetres:

- G = Irradiació incident a una superfície [W/m^2].
- J = Radiositat emesa per una superfície [W/m^2].
- E = Poder emissiu de una superfície [W/m^2].
- α = Absorbància, fracció de radiació que absorbeix la superfície (entre 0 i 1).
- ρ = Reflectància, fracció de radiació que reflecteix la superfície (entre 0 i 1).
- τ = Transmissió, fracció de calor que passa a través de la superfície (entre 0 i 1)

Amb els següents paràmetres i variables es compleixen els balanços següents:

- Eq.11:

$$\alpha + \rho + \tau = 1$$

- Eq.12:

$$\frac{q_{ij}}{A} = G_{ij} - J_{ij}$$

On es compleix, sent F_{ij} el factor de visió de la superfície i cap a la j l'Eq.9:

$$J_{ij} = E_i \cdot F_{ij}$$

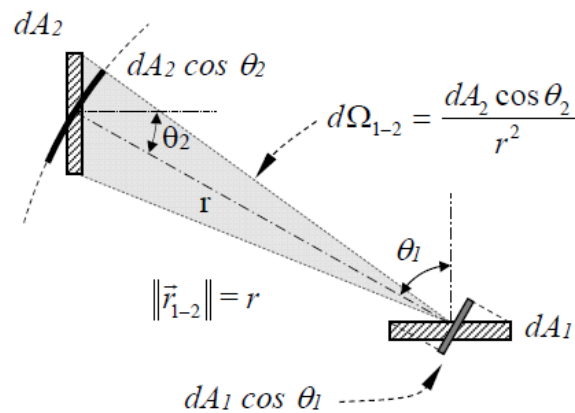


Figura 8.2. Angles d'incidència i factors de visió entre dues superfícies [3].

Tot i així, la radiació total emesa està amb diferents freqüències a diferents longituds d'ona, és per això que s'ha de realitzar l'anàlisi per bandes, on es calcula la potència incident entre les longituds d'ona desitjades. A continuació es presenten l'esquema de bandes i la variació de la transmissió d'un vidre en funció de la longitud d'ona:

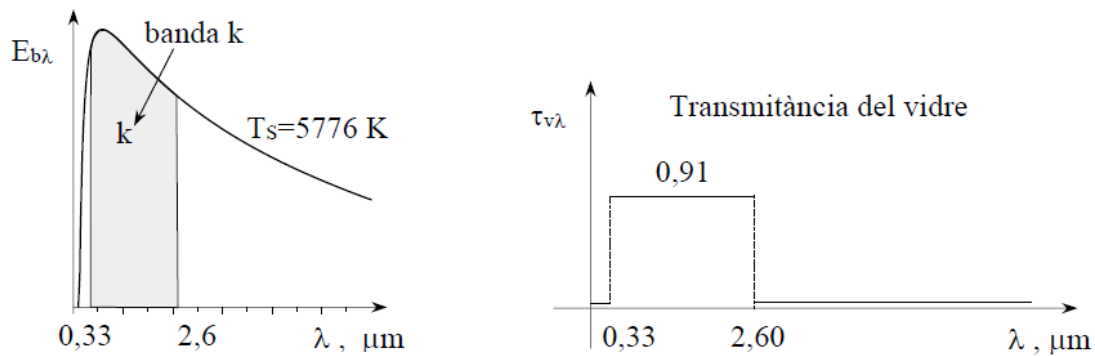


Figura 8.3. Variació de la transmissió del vidre respecte la longitud d'ona de la radiació incident [3].

Aplicant l'anàlisi de bandes, el poder emissiu passa a valer el següent:

- Eq.13:

$$E_i^k = \varepsilon_p^k \cdot \sigma \cdot T_p^4 \cdot \Delta F_p^k$$

On:

E = Poder emissiu de la superfície p a la freqüència d'ona k [W/m²].

σ = constant de Stefan-Boltzmann [5,67·10⁻⁸ W/m²·K⁴)

T_p = Temperatura de la superfície que emet [K]

ΔF_p^k = Interval de bandes k sobre la superfície p.

En el cas del Sol es té una temperatura aproximada de T_s = 5776 K i amb una banda de ΔF_{Sol}^k de 0,916 amb k compresa entre 0,33 i 2,66 μm de longitud d'ona. Per tant si es considera el 49 % de la calor que arriba realment a l'escorça terrestre de la incident a l'atmosfera i la transmissivitat del vidre de 0,91 a les bandes on es treballa, i es consideren només la component normal de la potència, es té la potencia per unitat de superfície següent:

$$G_{\theta}^k = G_{\theta} \cdot \Delta F_p^k = 0,49 \cdot 1362 \cdot 0,916 = 611,32 \text{ W/m}^2$$

$$G_{\perp}^k = G_{\theta}^k \cdot \Delta F_p^k = 611,32 \cdot 0,5 = 305,66 \text{ W/m}^2$$

$$P/A_{\text{travessa}} = G_{\perp}^k \cdot \tau_{\text{vidre}} = 305,66 \cdot 0,91 = 278,15 \text{ W/m}^2$$

Prendrem aquest nombre com a referència per comprovar i demostrar la validesa de les irradiacions d'estudi.

A continuació es mostren les irradiacions solars útils a la superfície terrestre, al punt de latitud i longitud exacte, del lloc d'estudi, al llarg dels 12 mesos de l'any 2017, extretes de la font bibliogràfica [7].

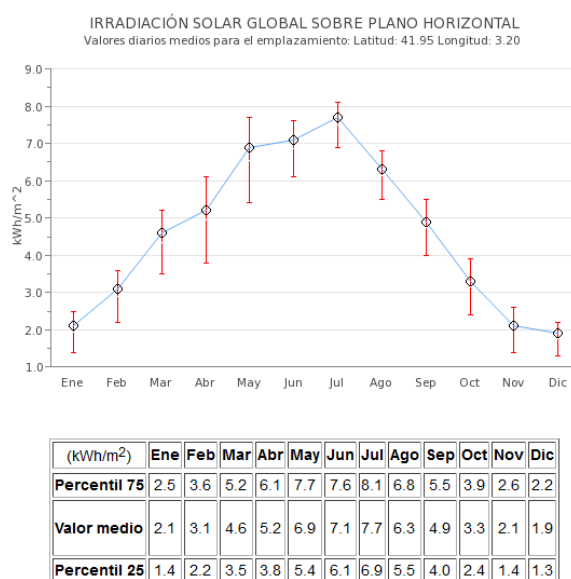


Figura 8.4. Potències radiants al llarg de l'any a l'habitatge [7].

Taula 8.2. Potències radiants al llarg de l'any a l'habitatge [7].

Mes	KWh/m²dia	W/m²
Gener	2,1	87,5
Febre	3,1	129,17
Març	4,6	191,67
Abril	5,2	216,67
Maig	6,9	287,5
Juny	7,1	295,83
Juliol	7,7	320,83
Agost	6,3	262,5
Setembre	4,9	204,17
Octubre	3,3	137,5
Novembre	2,1	87,5
Desembre	1,9	79,17

Com es pot comprovar als mesos més freds es disposa de poca radiació solar, i segurament serà necessari l'ús d'ajuda elèctrica, però en els mesos càlids, on aquesta és més important, s'intentarà subministrar tota la potència demandada. Fora d'això, les irradiacions en els mesos càlids quan la posició del Sol és òptima, donen valors molt semblants al que s'ha donat en el càlcul teòric anterior, sense tenir en compte la transmissivitat del vidre ($305,66 \text{ W/m}^2$), per tant es donen per bons i es seguirà amb l'estudi a partir d'aquestes dades. En tot moment es consideraran les radiacions mitjanes al llarg de totes les hores de dia.

COLECTOR SOLAR

El col·lector termosolar que es vol implementar és del tipus pla, ja que són els més senzills i econòmics, totalment aptes per instal·lacions petites com la present, i s'ha escollit en particular el de tubs al buit. Això es degut a que, en no haver-hi cap gas entre el vidre i els tubs interns, no hi haurà pèrdues per convecció a l'interior de la carcassa i el rendiment total serà més elevat que en el cas que hi hagués aire en contacte. Per tant, aquest estarà format per una carcassa metàl·lica per donar-li consistència estructural, una placa de vidre fina que deixi passar el màxim de radiació solar possible i uns tubs revestits de color negre (la superfície negra és la que absorbeix major calor, ja que té una elevada absorptivitat, tenint el cos negre ideal una absorptivitat de 1) per on hi circuli el fluid caloportador i una càmera de buit entre aquest dos elements, tot recobert (fora del vidre) per una capa d'aïllament com pot ser el poliuretà.

El fluid caloportador es tractarà d'aigua, ja que es treballa a temperatures elevades i no hi ha perill de solidificació, fora de presentar un gran règim turbulent en estat líquid fet que interessa molt per un bon intercanvi de calor mencionat a l'apartat 7, i té una gran calor específica ($4180 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$). A part no presenta problemes d'inflamabilitat ni toxicitat sent un fluid segur.

Aquest fluid, en ser escalfat a través del serpentí de tubs dins el col·lector a partir de la radiació solar esmentada, circularà per un tub fins l'acumulador on amb un nou serpentí intercanviarà la potència absorbida anteriorment i d'aquest sortirà refredat per ser impulsat per una bomba de treball negligible per fer-la circular de nou i ser retornada al col·lector. Per tant la potència absorbida al col·lector es considerarà igual a la potència cedida a l'acumulador.

A partir d'aquí s'ha calculat de manera aproximada el rendiment del col·lector solar a partir

de la teoria esmentada prèviament. Per tant s'ha considerat una transmissivitat arrodonida de 0,9 (partint del 0,91 anterior) i una emissivitat dels tubs negres de 0,9 també (considerant cos molt proper al cos negre, ja que mai es pot arribar al cos negre ideal) i unes pèrdues per convecció en la superfície exterior del vidre, i conducció a través del tub del 5%, s'obté un rendiment global del **77%**:

$$0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,95 = 0,77$$

Això vol dir que la potència subministrada pel fluid caloportador a l'aigua de l'acumulador serà el 77% de les irradiacions incidents de la Taula 8.2.

Per altra banda la superfície de col·lector solar vindrà determinada per la normativa espanyola, sobretot pel que fa a l'impacte visual, i una mica a l'estructura. Tenint en compte que estarà col·locat al sostre, i contemplant els angles de visió des del terra i els edificis més propers a la casa, en ser una urbanització aïllada de tot nucli urbà i tenir la casa més proper a uns 50 m, s'ha acordat disposar de 4 m² de placa. Això ve donat a que, de manera convencional, cada col·lector té una àrea de 2m² amb unes mesures aproximadament de 1x2 m, per tant es necessitaran 2. Aquests hauran d'estar orientats al Sud per rebre el màxim grau de potència solar.

8.3. Càlcul potències termosolars i elèctriques

Assumint una instal·lació de 4 m² de captador solar, i el rendiment calculat anteriorment, així com la temperatura després d'un dutxa completa, les calors mensuals necessàries per arribar a les condicions de temperatures nominals en l'acumulador (T=45°C) s'expliquen a continuació.

Inicialment s'ha plantejat l'alternativa de realitzar unes dutxes pel matí i les altres per la tarda, però de seguida s'ha vist que no era un cas gaire viable, ja que, a diferència de la tarda, quan li ha donat temps a l'aigua a escalfar-se durant el dia i les màximes radiacions, a primera hora del matí abans d'iniciar la jornada laboral, amb prou feines haurà rebut potència calorífica del Sol i per estar calenta hauria d'escalfar-se per la nit mitjançant el sistema elèctric.

Per tant, el que s'ha planejat com a millor opció del problema a estudiar, és fer totes les dutxes entre la tarda i el vespre un cop s'ha finalitzat la jornada laboral. Els punts positius d'aquesta alternativa són dos:

- En fer-se les 4 dutxes més o menys seguides, es poden considerar els buidats de cada una de manera consecutiva i realitzar-s mitjançant aigua a temperatura

ambient en haver acabat les quatre. D'aquesta manera, com que en un buidat disminueix molt poc la temperatura (tal i com es confirmarà posteriorment) en tots els casos es podrà arribar a una temperatura més que suficient per poder realitzar-se la dutxa a la temperatura de confort (superior a 40°C).

- Un altre punt positiu és el fet que es té tot el dia, mentre els quatre membre de l'habitatge són fora, per escalfar-se mitjançant la radiació solar (passant per les hores on aquesta és més elevada) per així tenir la temperatura adient al final del dia i poder-se fer tots els buidats de dipòsit necessaris. D'aquesta manera, el dipòsit passaria la nit a temperatura ambiental amb l'aigua mitjançant la qual s'ha reomplert i s'escalfaria de nou en començar el dia (s'haurà de comprovar que la radiació es suficient per arribar a 45 °C abans del moment escollit).

Per tant s'ha decidit que s'agafarà de mitjana, 12 hores entre la sortida de Sol (inici de la radiació solar) fins la primera dutxa, prenent per exemple vàlid, l'inici de l'escalfament seria a les 8 del matí, i la primera dutxa a les 20 hores. Per tant es consideraran com a suficients 12 hores o menys de temps d'escalfament per cada més. En cas de ser superior, es considerarà un percentatge de potència elèctrica per cobrir la potència que faria falta per escalfar-se en aquestes 12 hores.

Primer de tot s'han realitzat uns balanços de buidatge del dipòsit, corresponent a cada una de les dutxes, seguides d'un ompliment per retornar a la capacitat màxima, i així observar com varia la temperatura en tots els casos, i que sigui factible per poder realitzar els posteriors càlculs:

Cada buidat es calcularà amb la fórmula següent:

- Eq. 14:

$$W + Q - m_s \cdot h_s = m_f \cdot u_f - m_i \cdot u_i$$

I per les quatre dutxes queda de la següent manera (tenint en compte un W=0 en tots els casos):

$$0 - \frac{20,31 \cdot 4 \cdot 60}{1000} - 32 \cdot 188,52 = 118 \cdot u_f - 150 \cdot 188,42$$

D'aquí es calcula l'energia interna resultant en buidar-se els 32 L de la primera dutxa, calculant-ne posteriorment la seva temperatura:

$$u_f = 188,35 \text{ kJ/kg}$$

$$T_f = 44,98 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

A partir dels resultats calculats en el primer pas, es calculen les tres dutxes restants (calculant sempre l'entalpia de l'aigua que surt a la temperatura de l'acumulador i mantenint la calor per pèrdues en l'aïllament i el treball nul), i els resultats són els següents:

Segona dutxa:

$$u_f = 188,26 \text{ kJ/kg}$$

$$T_f = 44,96 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Tercera dutxa:

$$u_f = 188,11 \text{ kJ/kg}$$

$$T_f = 44,93 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Quarta dutxa:

$$u_f = 187,74 \text{ kJ/kg}$$

$$T_f = 44,84 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Analitzant breument els resultats es pot comprovar, com s'havia suposat inicialment en fer la hipòtesi escollida, que la temperatura varia molt poc en els buidatges i, per tant, es poden seguir fent les dutxes en condicions normals sense problemes, sempre i quan no es gastin més litres dels previstos, ja que al final de la quarta dutxa queden només 22 L d'aigua calenta a l'acumulador (després de quatre buidatges de 32 litres).

Aquest marge d'aigua calenta restant, podrà fer-se servir en cas de puntual necessitat en moments posteriors de la dutxa o en cas de tenir alguna d'elles una duració superior, però serà tan pocs els casos en que es necessiten, que no es contemplarà en la realització dels càlculs. Per tant es parteix des d'aquest punt per calcular l'ompliment mitjançant l'aigua de les canonades:

- Eq.15:

$$W + Q + m_e \cdot h_e = m_f \cdot u_f - m_i \cdot u_i$$

Amb les dades que es tenen, i considerant un temps d'ompliment de 2 min, que serà contemplat en la calor dissipat per l'aïllament, el càlcul queda de la següent forma:

$$0 - \frac{20,31 \cdot 2 \cdot 60}{1000} + 128 \cdot 83,85 = 150 \cdot u_f - 22 \cdot 187,74$$

$$u_f = 99,07 \text{ kJ/kg}$$

$$T_f = 23,63 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Com es pot comprovar, en ser mesclat amb l'aigua a 20°C, la qual omple la major part del dipòsit, la temperatura baixa dràsticament fins arribar pràcticament als nivells de la temperatura ambiental. Per tant, com que la diferència, i la potència intercanviada per ambdós medis (acumulador i interior de la casa), és molt petita, no es considerarà la pèrdua de calor durant la nit ni en estiu (25°C) ni en hivern (21°C), ja que els càlculs pràcticament no variarien (temps d'escalfament durant el dia, el qual donaria temps igualment a escalfar-se).

Així que, un cop calculada la situació final després del nou ompliment, i haver verificat la funcionalitat de l'alternativa escollida pel que fa a la gestió de dutxes s'ha calculat, primer de tot, l'energia calorífica que s'ha de subministrar de manera general i diària a l'aigua de l'acumulador per escalfar-la de nou a la temperatura de 45°C, un cop aquest ha estat reomplert fins al seu volum total:

$$Q = m_{aigua} \cdot C_{p aigua} \cdot (T_f - T_i) = 150 \cdot 4,18 \cdot (45 - 23,63) = 13399,43 \text{ kJ}$$

Els resultats dels temps d'escalfament de cada mes, amb respectives potències mitjanes radiant absorbides per l'acumulador, són els següents:

- Gener: 269,5 W / t = 13 h i 49 min
- Febrer: 397,84 W / t = 9 h i 33 min
- Març: 590,34 W / t = 6 h i 19 min
- Abril: 667,34 W / t = 5 h i 35 min
- Maig: 885,5 W / t = 4 h i 12 min
- Juny: 911,16 W / t = 4 h i 5 min
- Juliol: 988,16 W / t = 3 h i 46 min
- Agost: 808,5 W / t = 4 h i 36 min
- Setembre: 628,84 W / t = 5 h i 55 min
- Octubre: 423,5 W / t = 8 h i 47 min
- Novembre: 269,5 W / t = 13 h i 49 min
- Desembre: 243,84 W / t = 15 h i 16 min

Com es pot veure en els resultats dels temps que necessita el dipòsit per escalfar-se a la temperatura desitjada, a quasi tots els mesos tarda suficientment poc en escalfar-se com perquè doni temps per està en condicions en el moment de fer-se la primera dutxa pel vespre, tenint en compte que ha rebut radiació solar des de la sortida del Sol fins a la posta, moment aproximat en el qual es realitzaran les dutxes. Per tant es pot afirmar que, fora de casos excepcionals que es mencionaran posteriorment, en tots els mesos fora de Gener, Novembre i Desembre es pot mantenir el sistema en el funcionament desitjat sense tenir en compte cap tipus de consum elèctric, així que així es considerarà en el balanç energètic global.

Pel que fa als tres mesos mencionats anteriorment, es considerarà la potència necessària perquè el temps d'escalfament sigui de 12 hores, i la diferència entre aquesta i la radiant del col·lector serà l'elèctrica a aportar. Fent els càlculs aquestes seran:

$$P_{necessària} = 310,17 \text{ W} / P_{el\acute{e}c.Gener} = 40,67 \text{ W}$$

$$P_{necessària} = 310,17 \text{ W} / P_{el\acute{e}c.Novembre} = 40,67 \text{ W}$$

$$P_{necessària} = 310,17 \text{ W} / P_{el\acute{e}c.Desembre} = 66,33 \text{ W}$$

Aquestes potències, per considerar-ho de manera més ideal es considera que es generen mitjançant l'escalfament elèctric connectat, paral·lelament al termosolar, les 12 hores durant el dia en les quals no es fa servir la dutxa.

Taula 8.3. Potència elèctrica total a consumir de la xarxa, anualment.

	Potència elèctrica (W)	temps d'escalfament (h)	Energia consumida (kWh)
Gener	40,67	12	0,488
Novembre	40,67	12	0,488
Desembre	66,33	12	0,8
SUMA			1,776

Si es fa una suma general de l'energia elèctrica necessària en aigua calenta al llarg de tot l'any a partir de les potències obtingudes es té un valor final de **1,776 kWh** consumits en un any de la xarxa elèctrica. Com es pot comprovar fàcilment, es tracta d'un valor molt petit fàcilment negligible, però que igualment es tindrà en compte pel balanç global. Tot i així demostra la gran eficàcia del model que s'ha acabat dissenyant en aquest projecte, però sempre i quan es dugui a terme amb les especificacions mencionades en tot l'apartat. Per tant serà un valor que podrà variar en cas que es decideixi variar la duració de les dutxes, així com l'hora en la qual es duguin a terme o es consumeixi grans quantitats d'aigua calenta per altres fins, fet que variaria el resultat final, però que realment, tot i tenir-ho en compte, no es pot quantificar de manera exacte en un projecte tant generalista com aquest. Així que s'ha decidit acceptar el model estudiat com a model base per a l'hipotètic disseny posterior de la instal·lació.

9. CÀLCUL DEL CICLE TERMODINÀMIC

S'han contemplat diverses alternatives a l'hora de triar el sistema de climatització, basant-se en les referències [6] i [8]. Partint de la idea que el que es pretén és bàsicament millorar l'eficiència actual i disminuir la despesa energètica, és obvi que no s'optarà per un sistema de calefacció elèctric, opció que ha quedat descartada des de bon principi. També es vol potenciar l'ajuda en tenir un menor impacte ambiental, fet que ha descartat directament la caldera per combustible fòssil com la podria ser la de gas. Així que les opcions que restaven, tenint sempre en compte que es tracta d'una instal·lació petita i es pretén simplificar al màxim la complexitat perquè tingui un funcionament fiable i constant, eren les següents:

- Bomba de calor reversible: La de implementar una bomba de calor reversible que treballés tan com a calefacció com a refrigeració invertint el sentit del cicle és una bona opció per la facilitat del seu funcionament, instal·lació i les millores en eficiència respecte el sistema elèctric que presenta. També s'evita l'ús de combustibles en la combustió que generaria gasos contributors l'escalfament i contaminació de l'atmosfera, i l'esgotament de fonts no renovables, fets que es volen evitar.
- Bomba de calor i refrigeració per absorció: Una bona alternativa també, és la d'implementar una bomba de calor que treballi com a calefacció i realitzar la refrigeració mitjançant refrigeració per absorció, a base de l'absorció d'humitat per part de Bromur de Liti (LiBr) que farà la funció de compressor tèrmic (substituint el mecànic d'una bomba normal) augmentant la pressió amb la reacció química donada a partir de l'aportació d'energia solar calorífica mitjançant un col·lector solar al sostre de la casa.

La segona opció és molt interessant per molts aspectes, eficientment i mediambientalment, però tenint en compte que la refrigeració, tal i com s'ha vist en apartats anteriors, es necessita en pocs moments de l'any, no compensa implementar-la degut a l'elevat cost d'instal·lació que suposa.

Altres alternatives com combinar una bomba de calor amb fonts calorífiques externes renovables com són l'energia geotèrmica, que aporti part de l'energia calorífica que aquesta necessita reduint la despesa, no s'ha plantejat degut a que on està situat l'habitatge, no es disposa d'aquestes fonts.

Per tant la opció final escollida ha estat la bomba de calor reversible, la qual està basada en la compressió de vapor i té les característiques següents:

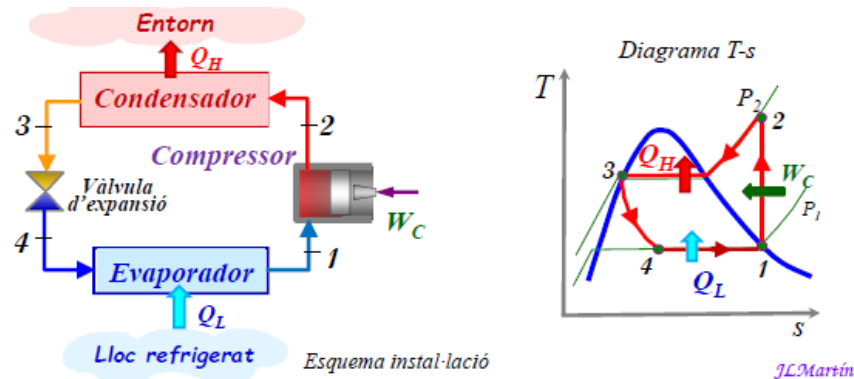


Figura 9.1. Cicle de refrigeració amb el seu gràfic T-s [17].

9.1. SELECCIÓ DE LA BOMBA

S'ha fet un contrast entre les cinc maneres més comunes de transferir la potència calorífica en una bomba de calor, les quals són: aire-aire, aire-aigua, aigua-aire, aigua-aigua i refredament al terra (dades extretes de [6] i [8]). Aquestes són escollides a partir de les fonts o medis mitjançant els quals intercanvia calor el bescanviador (sigui condensador o evaporador). Els medis són els següents:

Aire: El condensador o l'evaporador intercanvien calor amb contacte directe amb l'aire (per exemple en la calefacció l'evaporador escalfa el fluid amb l'aire fred de l'exterior i el condensador el refreda amb l'aire calent de la casa, el qual ha d'estar a la temperatura ambient de 21°C teòricament). Té avantatges com el fet que l'aire exterior és una font freda inesgotable, i la seva temperatura no variarà facilitant els càlculs. Tot i així s'ha de vigilar amb la formació de gebrada a les parets del bescanviador quan disminueix la temperatura (treballant com a calefacció), que pot provocar canvis en els mecanismes de transmissió de calor. A l'interior de la casa és necessari un sistema de circulació de l'aire perquè bescanviï calor amb el bescanviador de manera uniforme, com pot ser un ventilador.

Aigua: Té un coeficient de convecció centenars de vegades més gran que l'aire, i transfereix molt millor la calor i de manera més ràpida. En l'exterior de la casa, presenta l'inconvenient de que no sempre es té una font d'aigua (com un riu, mar o aqüífer subterrani) al costat i per tant no és possible implementar-se. A l'interior és una bona opció pel fet de que es pot fer la transferència mitjançant radiadors per on hi circula aigua calenta escalfada pel cicle, i que escalfa directament l'aire interior de la casa. És senzill d'instal·lar i muntar, i té una llarga duració.

Terra: El refredament del fluid a l'exterior de la casa es pot fer introduint la canonada al terra, i refredant el fluid que hi circula amb la temperatura d'aquest per conducció.

L'intercanvi de calor és eficient i la temperatura del terra sol ser constant, però es necessita una quantitat de terreny molt gran per enterrar el serpentí sense perjudicar l'estructura de la casa, i un cost d'instal·lació elevat.

D'aquí es pot escollir el tipus de bomba de calor que es vol tenir, tant per calefacció com refrigeració:

- Refrigeració: En el cas de la refrigeració ja s'ha determinat que el que es vol és una bomba aire-aire, degut a que no es disposa d'aigua exterior per refredar amb medi aquós el condensador, ni el terra es contempla com una opció viable degut a la falta de terreny i les despeses d'instal·lació. Per altra banda, dins com que s'arriba a una temperatura del fluid refrigerant de $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, en el cas de fer servir aigua com a medi bescanviador, aquesta hauria de ser refredada a temperatures properes als 0°C , i es patiria el perill de congelació, per tant no s'ha contemplat i la opció restant és l'escollida, la qual és la **aire-aire**.
- Calefacció: En el cas de la calefacció si que s'intentaran comparar les diverses opcions a partir dels trets més significatius de cada una:
 - Aire-Aire: Es bona si el que es vol és fer una màquina reversible, ja que l'aire condicionat per les temperatures a les que treballa el fluid, generalment treballa en aquest règim. Tot i així és la menys eficient de totes.
 - Aigua-aire: Només és apta si es té una font d'aigua prop de casa, fet que no es dona en el cas present, per tant queda descartada.
 - Terra-aire/Terra-aigua: No es contempla pels mateixos motius explicats en la refrigeració.
 - Aigua-aigua: és la que presenta millors intercanvis de calor però queda descartada per les mateixes raons que la aire-aigua, en no disposar de font d'aigua exterior.
 - Aire-aigua: Sol ser la opció més escollida en el cas de calefacció per la seva facilitat en la instal·lació, la durada sense incidències dels radiadors i la bona eficiència energètica que presenta. L'inconvenient és que no es pot aprofitar el condensador de la calefacció com a evaporador de la refrigeració en el cas de voler-se fer servir com a màquina reversible.

Fent comparacions, els dubtes es presenten entre escollir una calefacció aire-aire o aire-aigua pels motius citats anteriorment. Però finalment s'ha decidit optar per la segona, ja que presenta unes molt bones característiques, com bé s'ha dit, i, contemplat l'inconvenient de

la reversibilitat, s'ha arribat a la conclusió que no suposa un factor tan determinat en el projecte d'estudi el fet d'haver d'instal·lar un evaporador per la refrigeració fora dels radiadors condensadors de la calefacció, pel fet que és una residència a escala força reduïda sense una necessitat d'instal·lació molt gran, com seria el cas de indústries, oficines, etc. Per tant el cost d'instal·lació extra es veurà compensat per la millora en l'eficiència.

D'aquesta manera, com a calefacció, pels radiadors hi circularà aigua a 50°C, dada raonable per escalfar una casa estàndard (extreta de referència [2]), i això suposarà, considerant un diferència de temperatura a les sortides del bescanviador radiador-condensador de 10°C, una temperatura del refrigerant aproximada de 60°C a la sortida del condensador.

Pel que fa a la refrigeració, l'aire entrarà en contacte directe amb el serpentí de l'evaporador per on hi circularà refrigerant a una temperatura de -10°C (dada també presa a partir de la referència [2]).

9.2. Seguretat en el cicle

És important garantir una bona seguretat amb la que el sistema funcioni correctament, tenint en compte que hi habita gent en contacte directe amb tota la instal·lació i que, per tant, aquesta ha d'estar lliure de tot perill.

Per començar ja s'ha descartat de bon començament els fluids que implicarien una mala seguretat tant per toxicitat com per inflamabilitat o detonació (en tenir moltes fonts calentes a prop). També s'ha assegurat un flux dels fluids refrigerants dins uns marges segurs, que no circulin a unes velocitats gaire elevades que puguin provocar vibracions que distorsionin algun element estructural de la casa, així com evitar excessives pressions dins els tubs que puguin provocar deformacions o ruptures, que comportin a fugues del mateix. Per això els tubs s'asseguraran mitjançant acer amb un alt límit elàstic per no veure's afectat per aquest factor.

Per acabar, en cas de voler ser implementat, es realitzarà la instal·lació de manera senzilla intentar no foradar ni reformar cap paret per assegurar l'equilibri de l'habitatge.

9.3. Hipòtesis pel càlcul del cicle

Un cop determinat el cicle que es realitzarà, s'han fixat unes hipòtesis i suposicions per tal

de poder calcular totes les variables en tots els estats. Primer de tot es pretén intercanviar la màxima quantitat de calor possible en el condensador (en cas de calefacció) i en l'evaporador (en el cas de la refrigeració) mitjançant calor latent, per aprofitar el que s'alliberi en el canvi de fase i no haver d'elevat la temperatura més del necessari mitjançant el compressor, fet que augmentaria el treball que ha de realitzar i disminuiria l'eficiència del cicle. Per tant les pressions i temperatures s'han escollit tenint en compte aquests requisits. Fent diverses proves s'ha arribat a la conclusió que per obtenir el refrigerant en condició de líquid saturat (o al voltant d'aquest valor), a una temperatura de **60°C** en la calefacció (lleugerament menys si transforma totalment en líquid), s'ha d'arribar a una pressió de descàrrega de **1,7 MPa**. Per altra banda en la refrigeració es fixarà una temperatura de **-10°C**, que suposa unes pressió de succió a l'entrada del compressor de **0,2 MPa**.

Per altra banda sempre s'imposarà que a la sortida de l'evaporador es tingui vapor saturat, per aprofitar al màxim el calor latent i assegurar-se que el que entra al compressor es vapor i no líquid (els compressor no poden realitzar bé la seva funció si el fluid que manegen és líquid).

Finalment la temperatura fixada en l'evaporador (en el cas de la calefacció) i en el condensador (en el cas de la refrigeració) s'ha considerat sempre de 10 graus menor i major respectivament de la de l'aire exterior. Aquesta temperatura després s'aconseguirà amb un tractament específic cada més en el bescanviador, per assegurar-se que el cicle sempre treballa en les mateixes condicions.

Sempre es realitzaran els càlculs considerant un cert rendiment isoentròpic (ja que no es pot obtenir el compressor que treballi de forma ideal) i aquest s'ha considerat del 80%, valor prou estàndard en el mercat que es tindrà en compte a l'hora d'escollir el tipus de compressor a instal·lar. Per tant, calcularem un estat isoentròpic (2s), per posteriorment calcular l'estat de descàrrega (2) mitjançant la següent fórmula:

$$\eta_{isoen} = \frac{h_{2s} - h_1}{h_2 - h_1}$$

Pel que fa a al calor necessari per escalfar o refredar la casa, s'han tingut en compte els valors de les potències calculades anteriorment i uns cert percentatges de pèrdues en els bescanvis de calor, ja que no existeix l'intercanvi de calor ideal, degut a que es donen uns mecanismes de conducció, convecció i radiació en la transferència de calor de dos focus. A radiació tindrà un valor molt petit en comparació amb els altres dos, per tant podria ser negligible, però la conducció i sobretot la convecció amb l'aire generen unes pèrdues a tenir

en compte. Aquestes pèrdues són en el bescanviador entre el fluid refrigerant i l'aigua que escalfarà l'habitatge en la calefacció (s'ha considerat d'un 3%), així com l'intercanvi que hi ha entre aquesta aigua calenta que circula pels radiadors i l'aire interior de la casa a escalfar (considerat del 5%). Pel que fa a la refrigeració s'ha considerat un 5% de pèrdues de calor en l'intercanvi entre el fluid refrigerant i la convecció amb l'aire de la casa a refredar.

Finalment a partir de totes les variables calculades es trauran els valors que interessin del cicle com són la potència en el focus fred, la potència mecànica del compressor i el coeficient d'operació, amb els següents balanços:

$$\dot{Q}_L = \dot{m} \cdot (h_1 - h_4)$$

$$\dot{W}_{comp} = \dot{m} \cdot (h_2 - h_1)$$

$$COP = \frac{\dot{Q}_H}{\dot{W}_{comp}} = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1}$$

9.4. RESULTATS DEL CàLCUL DEL CICLE

GENER

Al gener la temperatura mitjana és de **8,8°C** i una potència calorífica mitjana de **2951 W** (considerant els % en pèrdues esmentats, la potència d'estudi serà realment de **3202,39 W**). Mirant el meteorograma en cap moment s'arriba als 20°C, (ni a les hores més càlides del dia), per tant es dona per suposat que es connectarà la calefacció durant les 24 hores del dia, partint de la temperatura mitjana com a referència. D'aquesta manera, prenent les consideracions i hipòtesis especificades anteriorment es tenen les següents dades, on partim d'una temperatura a la sortida de l'evaporador (i a l'entrada ja que estarà saturant) de 10 graus inferior a la T mitjana exterior (**-1,2°C**), i la seva pressió corresponent tenint en compte que es desitja que hi hagi vapor saturat (en aquest cas **0,28 MPa**). Per tant, per arribar als **1,7 MPa** citats anteriorment, partint d'un rendiment isoentròpic del compressor del 80% i la calor del focus calent pròpia del més, es calculen les altres dades i s'obté la taula següent:

Taula 9.1. Valors dels diversos estats termodinàmics de Gener en calefacció.

	P (MPa)	T (°C)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg·K)	Estat
1	0,28	-1,2	397,89	1,728	vapor saturat
2s	1,7		435,72	1,728	vapor reescalfat
2	1,7	74,8	445,18		vapor reescalfat
3	1,7	59,27	285,06		líquid (quasi saturat)
4	0,28	-1,2	294,43		líquid + vapor

D'aquí es veu com el fluid arriba a l'estat de líquid (pràcticament saturat), per tant s'ha aprofitat tot el calor latent en l'intercanvi en el bescanviador, fent el cicle més eficient, i la temperatura màxima assolida a la sortida del compressor és de 74,8°C, prou raonable i coherent. Per altra banda s'han calculat els treballs i calors que interessen, així com el coeficient d'operació, els quals són els següent:

$$\dot{Q}_H = 3,202 \text{ kW}$$

$$\dot{W}_{comp} = 0,946 \text{ kW}$$

$$COP = 3,39$$

Observant els resultats es pot veure com, tot i ser alts, són comprensibles ja que el gener és el més fred i que necessita de la major potència calorífica per esclafar la casa, per tant un treball de compressió alt. Però el coeficient d'operació dona un valor força raonable (superior a 3), per tant es tracta d'un cicle ben eficient i s'ha decidit tirar endavant. A continuació es mostren els valors obtinguts la resta de mesos:

FEBRER

Taula 9.2. Valors dels diversos estats termodinàmics de Fener en calefacció.

	P (MPa)	T (°C)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg·K)	Estat
1	0,31	2	399,5	1,7265	vapor saturat
2s	1,7		435,2	1,7265	vapor reescalfat
2	1,7	73,94	444,12		vapor reescalfat
3	1,7	60	296,91		líquid + vapor (quasi saturat)
4	0,31	2	296,91		líquid + vapor

$$\dot{Q}_H = 2,944 \text{ kW}$$

$$\dot{W}_{comp} = 0,892 \text{ kW}$$

$$COP = 3,30$$

MARÇ

Taula 9.3. Valors dels diversos estats termodinàmics de Març en calefacció.

	P (MPa)	T (°C)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg·K)	Estat
1	0,34	3,7	400,96	1,725	vapor saturat
2s	1,7		434,67	1,725	vapor reescalfat
2	1,7	73,08	443,01		vapor reescalfat
3	1,7	60	295,94		líquid + vapor (quasi saturat)
4	0,34	3,7	295,94		líquid + vapor

$$\dot{Q}_H = 2,941 \text{ kW}$$

$$\dot{W}_{comp} = 0,841 \text{ kW}$$

$$COP = 3,50$$

ABRIL

Taula 9.4. Valors dels diversos estats termodinàmics de Abril en calefacció.

	P (MPa)	T (°C)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg·K)	Estat
1	0,36	5,4	401,88	1,725	vapor saturat
2s	1,7		434,67	1,725	vapor reescalfat
2	1,7	72,88	442,87		vapor reescalfat
3	1,7	60	302,18		líquid + vapor (quasi saturat)
4	0,36	5,4	302,18		líquid + vapor

$$\dot{Q}_H = 2,813 \text{ kW}$$

$$\dot{W}_{comp} = 0,82 \text{ kW}$$

$$COP = 3,43$$

MAIG

Taula 9.5. Valors dels diversos estats termodinàmics de Maig en calefacció.

	P (MPa)	T (°C)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg·K)	Estat
1	0,34	4,1	400,96	1,726	vapor saturat
2s	1,7		435,02	1,726	vapor reescalfat
2	1,7	73,64	443,77		vapor reescalfat
3	1,7	60	294,12		líquid + vapor (quasi saturat)
4	0,34	4,1	294,12		líquid + vapor

$$\dot{Q}_{H_instantània} = 2,992 \text{ kW} \quad \dot{Q}_{H_mitjana} = 1,496 \text{ kW}$$

$$\dot{W}_{comp_instantani} = 0,856 \text{ kW} \quad \dot{W}_{comp_mitjà} = 0,428 \text{ kW}$$

$$COP = 3,50$$

JUNY

Taula 9.6. Valors dels diversos estats termodinàmics de Juny en calefacció.

(Calefacció)

	P (MPa)	T (°C)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg·K)	Estat
1	0,41	9,3	404,1	1,7227	vapor saturat
2s	1,7		433,87	1,7227	vapor reescalfat
2	1,7	71,69	441,31		vapor reescalfat
3	1,7	60	300,62		líquid + vapor (quasi saturat)
4	0,41	9,3	300,62		líquid + vapor

$$\dot{Q}_{H_instantània} = 2,813 \text{ kW} \quad \dot{Q}_{H_mitjana} = 0,703 \text{ kW}$$

$$\dot{W}_{comp_instantani} = 0,744 \text{ kW} \quad \dot{W}_{comp_mitjà} = 0,186 \text{ kW}$$

$$COP = 3,78$$

Taula 9.7. Valors dels diversos estats termodinàmics de Juny en refrigeració.

(Refrigeració)

	P (MPa)	T (°C)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg·K)	Estat
1	0,2	-10	392,62	1,7245	vapor saturat
2s	0,95		423,93	1,7245	vapor reescalfat
2	0,95	49,86	431,76		vapor reescalfat
3	0,95	37,3	262,55		líquid + vapor (x=0,06)
4	0,2	-10	262,55		líquid + vapor

$$\dot{Q}_{L_{instantània}} = 3,902 \text{ kW} \quad \dot{Q}_{L_{mitjana}} = 0,244 \text{ kW}$$

$$\dot{W}_{comp_instantani} = 1,17 \text{ kW} \quad \dot{W}_{comp_mitjà} = 0,073 \text{ kW}$$

$$COP = 3,32$$

JULIOL

Taula 9.8. Valors dels diversos estats termodinàmics de Juliol en refrigeració.

	P (MPa)	T (°C)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg·K)	Estat
1	0,2	-10	392,62	1,733	vapor saturat
2s	0,97		425,47	1,733	vapor reescalfat
2	0,97	52,07	433,69		vapor reescalfat
3	0,97	38,2	253,78		líquid + vapor (quasi saturat)
4	0,2	-10	253,78		líquid + vapor

$$\dot{Q}_{L_{instantània}} = 4,127 \text{ kW} \quad \dot{Q}_{L_{mitjana}} = 0,258 \text{ kW}$$

$$\dot{W}_{comp_instantani} = 1,23 \text{ kW} \quad \dot{W}_{comp_mitjà} = 0,077 \text{ kW}$$

$$COP = 3,35$$

Taula 9.9. Valors dels diversos estats termodinàmics d'Agost en refrigeració..

AGOST

	P (MPa)	T (°C)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg·K)	Estat
1	0,2	-10	392,62	1,733	vapor saturat
2s	0,98		425,7		vapor reescalfat
2	0,98	52,52	433,97		vapor reescalfat
3	0,98	38,6	259,29		líquid + vapor (quasi saturat)
4	0,2	-10	259,29		líquid + vapor

$$\dot{Q}_{L_instantània} = 3,981 \text{ kW} \quad \dot{Q}_{L_mitjana} = 0,249 \text{ kW}$$

$$\dot{W}_{comp_instantani} = 1,24 \text{ kW} \quad \dot{W}_{comp_mitjà} = 0,078 \text{ kW}$$

$$COP = 3.20$$

Taula 9.10. Valors dels diversos estats termodinàmics de Setembre en calefacció.

SETEMBRE

	P (MPa)	T (°C)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg·K)	Estat
1	0,36	5,9	401,88	1,7245	vapor saturat
2s	1,7		434,5	1,7245	vapor reescalfat
2	1,7	72,71	442,65		vapor reescalfat
3	1,7	60	292,13		líquid + vapor (quasi saturat)
4	0,36	5,9	292,13		líquid + vapor

$$\dot{Q}_{H_instantània} = 3,01 \text{ kW} \quad \dot{Q}_{H_mitjana} = 1,505 \text{ kW}$$

$$\dot{W}_{comp_instantani} = 0,815 \text{ kW} \quad \dot{W}_{comp_mitjà} = 0,408 \text{ kW}$$

$$COP = 3,69$$

Taula 9.11. Valors dels diversos estats termodinàmics de Octubre en calefacció.

OCTUBRE

	P (MPa)	T (°C)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg·K)	Estat
1	0,33	4,6	400,5	1,733	vapor saturat
2s	1,7		435,27		vapor reescalfat
2	1,7	73,81	443,96		vapor reescalfat
3	1,7	60	287,58		líquid + vapor (quasi saturat)
4	0,33	4,6	287,58		líquid + vapor

$$\dot{Q}_{H_instantània} = 3,128 \text{ kW} \quad \dot{Q}_{H_mitjana} = 1,564 \text{ kW}$$

$$\dot{W}_{comp_instantani} = 0,869 \text{ kW} \quad \dot{W}_{comp_mitjà} = 0,435 \text{ kW}$$

$$COP = 3,60$$

Taula 9.12. Valors dels estats termodinàmics de Novembre en calefacció.

NOVEMBRE

	P (MPa)	T (°C)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg)	Estat
1	0,32	2,4	400,04	1,726	vapor saturat
2s	1,7		435,02	1,726	vapor reescalfat
2	1,7	73,4	443,77		vapor reescalfat
3	1,7	60	291,08		líquid + vapor (quasi saturat)
4	0,32	2,4	291,08		líquid + vapor

$$\dot{Q}_H = 3,054 \text{ kW}$$

$$\dot{W}_{comp} = 0,875 \text{ kW}$$

$$COP = 3,49$$

DESEMBRE

Taula 9.13. Valors dels estats termodinàmics de Desembre en calefacció.

	P (MPa)	T (°C)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg·K)	Estat
1	0,29	-0,7	398,43	1,7275	vapor saturat
2s	1,7		435,55	1,7275	vapor reescalfat
2	1,7	74,51	444,82		vapor reescalfat
3	1,7	58,89	284,1		líquid (quasi saturat)
4	0,29	-0,7	284,1		líquid + vapor

$$\dot{Q}_H = 3,214 \text{ kW}$$

$$\dot{W}_{comp} = 0,928 \text{ kW}$$

$$COP = 3,46$$

Dels valors obtinguts es poden treure conclusions positives. Per començar el coeficient d'operació oscil·la entre valors força coherents (entre 3,20 i 3,78) pel que fa a una bomba de calor, els quals solen oscil·lar entre 3 i 4,5 [1] [2]. Per tant es tracta d'un sistema eficient, i molt més que el que hi ha implementat actualment.

Per altra banda treballa dins uns marges força bons pel que fa a la seguretat i al funcionament del cicle, ja que la temperatura màxima assolida (a la descàrrega del compressor), en el mes de Gener és de 74,8 °C, valor elevat però no massa tenint en compte el cicle que s'estudia i el tipus de refrigerant que conté, per tant els tubs no patiran desperfectes fora de l'habitual.

Pel que fa a la temperatura mínima en la calefacció el fluid arriba als -1,2°C, temperatura que tot i semblar baixa, està molt lluny del punt de solidificació, el qual és de -103°C. Òbviament tampoc afecta a la temperatura d'evaporació en la refrigeració (-10°C). El treball que ha de realitzar el compressor oscil·la entre 1,24 kW (valor màxim de refrigeració a l'Agost, les 6 hores de funcionament) i 0,744 kW (valor de Juny treballant com a calefacció, en el moment del funcionament). Per tant són valors força semblants que difereixen com a molt en 0,5 kW. D'aquesta manera es pot assegurar un funcionament amb un compressor amb una potència nominal lleugerament superior a 1,24 kW (1,69 cavalls de vapor), sense necessitat de que treballi a un punt de funcionament molt baix, i hi hagi pèrdues en l'eficiència (és important que la màquina treballi prop de la potència nominal i no a valors inferiors, perquè és on es manté el màxim rendiment). Per tant es considerarà un rendiment electromecànic lleugerament superior al compressor treballant a refrigeració, respecte calefacció.

Fora d'això si s'observa l'estat del refrigerant, es veu com generalment arriba pràcticament a líquid saturat en la condensació (calefacció), fet que és ideal, ja que s'aprofita la calor latent en comptes de variar més la temperatura.

En definitiva, semblen uns resultats prou bons i coherents i s'han acceptat per fer el balanç energètic definitiu.

10. SELECCIÓ DELS ACCESSORIS DE LES INSTAL·LACIONS

10.1. Selecció d'accessoris principals

Hi ha diversos tipus de compressors i bombes al mercat, cada un adient depenent de la funció que hagi de realitzar. Per tant, és molt important determinar les sol·licitacions a les quals estarà sotmès en el cas que es presenti. En aquest es tindran en compte bàsicament 3 paràmetres:

- Cabal de fluid a desplaçar: Algunes màquines tenen mecanismes que no poden suportar el moviment que implica la velocitat a la qual va el fluid o, en altres casos, no poden emmagatzemar suficient volum de fluid en el cilindre o cavitat.
- Alçada manomètrica a la que s'haurà d'arribar: Dependrà de si únicament es vol impulsar el fluid perquè segueixi circulant o se li ha d'aportar un extra d'energia per vèncer certes energies potencials sense arribar a l'estancament.
- Flux interromput o continu: Hi ha compressors o bombes que simplement canvien les variables del flux com la pressió o la velocitat però sense modificar l'estat de moviment d'aquest, i hi ha d'altres que provoquen una parada d'aquest, per accelerar-lo de nou amb les noves condicions desitjades. Depenent del cas serà més beneficiós un o l'altre.
- Influència mecànica i química del refrigerant a tractar: Alguns refrigerants no són aptes per a certs compressors, degut a que presenten viscositats que no tolerarien i desgastarien la màquina fent-la malbé a llarg termini, o també poden tenir certes propietats químiques com la corrosió que puguin deteriorar les parets i els mecanismes del compressor.

SELECCIÓ DEL COMPRESSOR

Com ve se sap, un compressor és una màquina destinada a augmentar la pressió d'un fluid que hi circula adaptant també altres paràmetres per donar-li les condicions mecàniques desitjades. Hi ha diversos tipus de compressors i a continuació s'exposen els més bàsics, i que es contemplaran en aquest projecte.

Compressor centrífug

Cada compressor tindrà la seva corba característica, que dependrà de la inclinació dels àleps. Solen ser unitaris (una etapa), a no ser que es disposi de cabals molt elevats, fet que no és el cas.

Un avantatge del compressor centrífug és que impulsa gas lliure d'oli refrigerant i no hi ha peces que es desgastin amb el corrent del compressor.

La selecció del material de la carcassa del compressor depèn del gas que hi circula.

AVANTATGES COMPRESSOR CENTRÍFUGS [9]

- Es pot instal·lar en una unitat de manera econòmica en l'interval de 0,95 m³/s a 94,4 m³/s, que són cabals molt elevats pel projecte d'estudi [9].
- Variació amplia en el flux tenint un petit canvi en la càrrega.
- Es pot treballar en intervals llargs en no tenir peces rotatòries.
- Obtenció de grans volums en llocs petits.
- El flux és suau i sense pulsacions.

DESAVANTATGES COMPRESSOR CENTRÍFUGS [9]

- Canvis imprevistos en el pes molecular poden provocar pressions molt elevades.
- Necessitat de velocitats molt altes per produir pressió.
- Augment petit en la pèrdua de pressió pot reduir el volum del compressor.
- Requereix un complex sistema de lubricació d'oli.

Alguns dels inconvenients vistos, com la necessitat de velocitat molt elevada per part del fluid per provocar un augment de la pressió, han sigut necessaris per no optar per l'elecció d'un compressor centrífug.

Compressors de desplaçament positiu

En els compressors de desplaçament positiu sí que es produeix una interrupció del fluid, a base de l'ompliment d'una cavitat. Hi ha dos tipus, els rotatoris i els reciprocants.

- Reciprocants:

Els reciprocants es basen (considerat adiabàtic) en l'ompliment d'un cilindre per vàlvula d'entrada, on es comprimeix el gas per després ser expulsat a la pressió desitjada per una altra vàlvula. Poden ser lubricats o sense lubricar, però serà preferible escollir el lubricat per tenir una major duració de les peces que el formen.

A diferència dels centrífugs les seves capacitats (cabal a tractar) són constants i les pressions de descàrrega variables. Aquest fet interessa força, ja que es parteix de la hipòtesi de la conservació del flux màssic, el qual, amb els lleugers canvis de temperatura que es presenten, no varia gaire la densitat i, conseqüentment, el cabal.

Desgraciadament alguns desavantatges dels compressors recíprocs són que presenten peces en contacte que poden desgastar-se per fricció i una variació petita del cabal respecte increments grans de pressió de descàrrega.

- Rotatius:

Els rotatius tenen una capacitat màxima generalment de $11,8 \text{ m}^3/\text{s}$ [9]. Per tant són adients per tractar cabals molt elevats, fet que no és el cas. La pressió de vapor del fluid ha de ser molt inferior al punt d'ebullició, per evitar produir pèrdues de capacitat i danys per sobreescalfament. Es disminueix la velocitat de treball al 60% de la màxima per evitar pèrdues en l'eficiència. Els tipus més comuns són els de paletes lliscants i els de lòbuls rotatoris [9]:

- Lòbuls rotatoris: Poden presentar un cabal des de $0,00094 \text{ L/s}$ fins a valors molt elevats (no hi ha contacte amb la zona de compressió per tant el gas no conté oli). S'han de fer servir refredadors per oli si la temperatura de descàrrega supera els 175°C , fet que no és el cas. El problema és que treballen en relacions de pressió petites de l'atmosfera fins a $0,15 \text{ MPa}$ els més comuns, i alguns arriben fins als $0,30 \text{ MPa}$ (no és suficient ja que les pressions màximes en aquest projecte són de $1,7 \text{ MPa}$).
- Paletes lliscants: en una etapa arriben a $0,45 \text{ MPa}$ i en dues etapes fins a 1 MPa (no és suficient per les condicions que es donen). El cabal està comprès entre $0,7$ i $1 \text{ m}^3/\text{s}$.

Veient els dos tipus, es pot arribar fàcilment a la conclusió que no són viables per aquest cas, en el que els graus de pressions no s'escauen amb els d'estudi.

Vistes les avantatges i desavantatges, s'ha decidit escollir un compressor de **desplaçament positiu recíproc** estàndard. Amb aquest tipus de compressor es pot tractar cabals petits, com el cas present, sense problemes ni necessitat de complicar el sistema. A més a més, el refrigerant escollit (R 134a) no té cap nivell de corrosió, i una viscositat reduïda que permet que pugui ser manipulat per la gran majoria d'aquests compressors.

SELECCIÓ DE LA BOMBA

Generalment es fan servir les centrífugues i serà el cas en aquest projecte. Es comporten igual que els compressors centrífugs amb la diferència que el líquid a bombejar és

incompressible. S'escollirà aquest model per ser senzilla, barata i fàcil d'aconseguir [3] i sobretot, de mantenir, a part de que en no tenir peces on es pugui provocar friccions fora dels coixinets surten guanyant respecte a altres tipus de bombes.

Altres bombes com les de desplaçament positiu serien escollides en cas que es tinguessin fluxos inferiors i càrregues més elevades, però no és el cas.

Un altre avantatge a destacar és que les centrífugues tenen control pel flux, de manera que es pot regular fàcilment la velocitat a la que interessa que circuli el fluid, fet important tant a la bomba situada al circuit de l'aigua sanitària (la velocitat que hagi de proporcionar variarà a partir de la temperatura de cada mes, a mesura que variï la potència a aportar, o pels canvis bruscs del clima) com a la de la sortida del condensador en la bomba de calor, la qual només s'activarà en el cas que el sensor detecti un perill d'estancament, i es farà a la velocitat mínima necessària per garantir el flux.

Tot i així, la selecció entre diversos models sempre s'ha de tenir en compte en evitar que sigui més gran de les dimensions necessàries perquè treballaria al final de la corba capacitat-alçada a desplaçar [11] causant vibracions molt altes i innecessàries.

BESCANVIADORS

Per últim, els bescanviadors de calor, tant condensadors com evaporadors com el de l'acumulador d'aigua, s'han decidit que siguin tubulars, ja que són els més comuns i més econòmics podent intercanviar eficientment la calor desitjada en casos com el present, bàsicament amb més o menys longitud del tub, que implicarà major intercanvi.

10.2. Accessoris extres al cicle

Tot i que la funció termodinàmica principal la realitzen els elements del cicle mencionat anteriorment, el cert és que també hi ha una sèrie d'accessoris [6] per mantenir el correcte funcionament del sistema. Els elements narrats a continuació són els situats a la zona d'alta pressió:

- Separador d'oli: Degut a que s'afegirà un compressor amb ús de lubricant és necessari introduir un. Això és degut a que, tot i que en aquest projecte s'usa un refrigerant miscible amb l'oli del compressor, si que una gran quantitat d'aquests dos mesclats farien variar les propietats tèrmiques i mecàniques del fluid, per tant és necessari fer-ne una continua separació per evitar que això passi.

Generalment el que provocaria seria una disminució de la transferència de calor en els bescanviadors deguda al volum que aquest ocuparia reduint la quantitat de refrigerant, a part de generar una pel·lícula sobre la superfície d'intercanvi. Aquest serà col·locat a la descàrrega del compressor, tan a prop d'aquesta com es pugui, per ser retornat al seu origen un cop separat.

- Silenciador de descàrrega: També situat a la boca de sortida del compressor, té com a objectiu reduir el soroll que generen les fortes descàrregues de fluid que aquest provoca, per així tenir un nivell acústic acceptable i respectuós amb la normativa vigent [5].
- Esmorteïdor de vibracions: El seu principal objectiu és el de reduir les vibracions generades al llarg de tots els tubs del cicle amb dos motius: reduir el nivell acústic que aquestes puguin generar i disminuir la possibilitat de ruptures de tub per part d'aquestes. Per assegurar que tots els tubs compleixen aquests requisits, es situarà un esmorteïdor tant en la zona d'alta pressió com a la de baixa.
- Recipient de líquid: Té la funció d'acumular el líquid en el condensador per facilitar el manteniment de la bomba i fer de dipòsit on s'emmagatzemi el líquid que permetrà l'alimentació de la vàlvula d'expansió.
- Purgador: Desgraciadament no es pot aconseguir el buit ideal en els tubs per tant per aquests, fora del fluid refrigerant, hi circularà una petita quantitat d'aire. Aquest, que consta de propietats tèrmiques en estat gasós inferiors, disminuirà l'intercanvi de calor, degut al seu baix calor específic. A part també poden haver-hi gasos formats per l'oli en descomposició o alguns sorgits de reaccions del fluid refrigerant. El purgador el que farà és condensar el refrigerant i d'aquesta manera separant-lo i eliminant els gasos sobrants que no condensin (els no desitjats) sense parar el funcionament de la bomba.
- Filtre deshidratador: Bàsicament té la funció de deshidratar la humitat que pot haver-hi a l'interior del tub, humitat que pot haver aparegut degut a una possible falta d'estanqueïtat o ús d'olis mal deshidratats o refrigerants mal emmagatzemats. A part, com a filtre, filtra també les impureses que estiguin presents en el circuit, que puguin haver sortit de la fabricació dels mateixos components, o productes escòries de les soldadures dels tubs.

A continuació es presenten els accessoris a la zona de baixa pressió:

- Filtre d'oli: Un cop l'oli que ha estat extret del circuit mitjançant el separador d'oli, mencionat anteriorment, torna al compressor, pot presentar una sèrie d'impureses (derivats del refrigerant o del material dels tubs) les quals han de ser extretes per aquest filtre abans de ser retornat al compressor. Només existeix en instal·lacions d'olis independents, que és el cas d'aquest projecte.

- Separador de líquid: No s'introduiria aquest accessori al cicle d'estudi si es complís al 100% la condició de vapor saturat a la sortida de l'evaporador, ja que només té sentit el seu ús quan es fan servir evaporadors inundats. Però tenint en compte que hi ha fenòmens com les pèrdues de càrrega dels tubs, variacions brusques de la temperatura exterior, etc que poden variar lleugerament els estats del cicle, és probable que a la sortida de l'evaporador encara quedi una mica de líquid, i necessiti ser separat del vapor que entra a la succió del compressor (no pot treballar amb líquid, només vapor), per tant aquest accessori serà necessari.
- Acumulador de líquid: Tampoc es disposarà d'aquest element, el qual, situat a la sortida de l'evaporador, té l'objectiu d'evitar que el líquid que no hagi evaporat a la sortida d'aquest, impacti contra el compressor. En no tenir líquid en aquella zona, no se'l contemplaria,, però com existeix la possibilitat de que no s'arribi a la total saturació, sí que s'introduirà un.
- Resistència elèctrica del carter: Aquest accessori tindrà la seva funció en el cas que el compressor porti molt temps sense funcionar, ja que llavors, si està situat a algun lloc a baixes temperatures (com podria ser als mesos d'hivern) el refrigerant es mesclaria amb l'oli (tindria tendència a anar a llocs amb temperatures més baixes, en el cas que el sistema estigui parat). Això suposaria un problema en el moment d'arrencar de nou el cicle, ja que es produiria una ràpida ebullició del fluid generant una gran quantitat d'espuma a l'oli, per tant aquesta resistència escalfaria la zona on se situa l'oli respecte les altres per evitar que es mescli amb el refrigerant. Òbviament, en una casa on hi habita gent contínuament, com és el cas que es presenta, no es donaria gaire aquesta circumstància ja que a l'hivern la calefacció es connecta diàriament. Però en cas de, per qualsevol motiu, abandonar el domicili durant uns dies, es podria donar el fet, per tant és bo disposar-ne de l'accessori.

Altres accessoris que s'usaran en el circuit són:

- Vàlvula solenoide: Es tracta d'un dispositiu que regula el pas de refrigerant en un circuit. Bàsicament es basa en el desplaçament d'un èmbol, que obre o tanca l'orifici del tub, mitjançant l'aplicació d'un camp magnètic a partir d'un corrent elèctric que es fa passar per una bobina solenoide. En el cas present, se situarà a l'entrada de l'evaporador per regular el flux que hi circula, en el cas que el compressor s'aturi o minvi la seva velocitat, i així evitar inundar-lo.
- Vàlvula de retenció: És bàsicament una vàlvula antiretorn, que deixa passar el fluid en un sentit però no en l'altre. Es situaran tant en la zona d'alta pressió com en la baixa i serà interessant col·locar-les en les zones de perill d'estanqueïtat, com quan el fluid està en estat líquid (velocitat molt petita) o en transició. És a dir, se situaran una després del condensador i l'altra abans d'entrar a l'evaporador. Es

basa en l'acció d'una molla que mou un anell que es deixa obrir quan el fluid circula en el correcte sentit, però que queda millor ajustat i no el deixa passar, en el cas que circuli a l'inrevés.

- Vàlvula de quatre vies: Aquest serà un element indispensable, ja que permetrà la inversió del circuit per passar de funcionar com a calefacció a refrigeració i a l'inrevés. D'aquesta manera el condensador passarà a funcionar com a evaporador i l'evaporador com a condensador. S'ha de tenir en compte que el cabal màssic en la refrigeració és de 0,03 kg/s mentre que en calefacció de 0,02 kg/s, per tant en activar-se el nou sentit del circuit s'haurà d'enviar l'ordre al compressor per canviar el seu règim de funcionament per, amb el mateix volum de refrigerant, fer-lo circular més ràpid en el cas de la refrigeració per adaptar-se al nou cabal.

10.3. Instal·lació

Un cop determinats tots els punts de treball dels circuits i els elements que els compondran s'ha de determinar la col·locació i correcta instal·lació d'aquests al llarg de la casa. Això s'ha fet pensant sempre en un estalvi màxim d'energia innecessària i en complicar el mínim possible tant la instal·lació com l'impacte visual que aquesta pugui ocasionar. Per tant serà molt important definir totalment quin sistema es té tant en calefacció com en refrigeració pel que fa a la climatització:

S'ha fet un contrast entre les cinc maneres més comunes de transferir la potència calorífica [6], les quals són: aire-aire, aire-aigua, aigua-aire, aigua-aigua i refredament al terra. Aquestes són escollides a partir de les fonts o medis mitjançant els quals intercanvia calor el bescanviador (sigui condensador o evaporador). Els medis són els següents:

Aire: El condensador o l'evaporador intercanvien calor amb contacte directe amb l'aire (per exemple en la calefacció l'evaporador escalfa el fluid amb l'aire fred de l'exterior i el condensador el refreda amb l'aire calent de la casa, el qual ha d'estar a la temperatura ambient de 21°C teòricament). Té avantatges com el fet que l'aire exterior és una font freda inesgotable, i la seva temperatura no variarà facilitant els càlculs. Tot i així s'ha de vigilar amb la formació de gebrada a les parets del bescanviador quan disminueix la temperatura (treballant com a calefacció), que pot provocar canvis en els mecanismes de transmissió de calor. A l'interior de la casa és necessari un sistema de circulació de l'aire perquè bescanviï calor amb el bescanviador de manera uniforme, com pot ser un ventilador.

Aigua: Té un coeficient de convecció centenars de vegades més elevat que l'aire, i

transfereix molt millor la calor i de manera més ràpida. En l'exterior de la casa, presenta l'inconvenient de que no sempre es té una font d'aigua (com un riu, mar o aquífer subterrani) al costat i per tant no és possible implementar-se. A l'interior és una bona opció pel fet de que es pot fer la transferència mitjançant radiadors per on hi circula aigua calenta escalfada pel cicle, i que escalfa directament l'aire interior de la casa. És senzill d'instal·lar i muntar, i té una llarga duració.

Terra: El refredament del fluid a l'exterior de la casa es pot fer introduint la canonada al terra, i refredant el fluid que hi circula amb la temperatura d'aquest per conducció. L'intercanvi de calor és eficient i la temperatura del terra sol ser constant, però es necessita una quantitat de terreny molt gran per enterrar el serpentí sense perjudicar l'estructura de la casa, i un cost d'instal·lació elevat.

D'aquí es pot escollir el tipus de bomba de calor que es vol tenir, tant per calefacció com refrigeració:

- Refrigeració: En el cas de la refrigeració ja s'ha determinat que el que es vol és una bomba aire-aire, degut a que no es disposa d'aigua exterior per refredar amb medi aquós el condensador, ni el terra es contempla com una opció viable degut a la falta de terreny i les despeses d'instal·lació. Per altra banda, com que dins s'arriba a una temperatura del fluid refrigerant de $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, en el cas de fer servir aigua com a medi bescanviador, aquesta hauria de ser refredada a temperatures properes als 0°C , i es patiria el perill de congelació, per tant no s'ha contemplat i la opció restant és l'escollida, la qual és la **aire-aire**.
- Calefacció: En el cas de la calefacció sí que s'intentaran comparar les diverses opcions a partir dels trets més significatius de cada una:
 - Aire-Aire: És bona si el que es vol és fer una màquina reversible, ja que l'aire condicionat per les temperatures a les que treballa el fluid, generalment treballa en aquest règim. Tot i així és la menys eficient de totes.
 - Aigua-aire: Només és apta si es té una font d'aigua prop de casa, fet que no es dona en el cas present, per tant queda descartada.
 - Terra-aire/Terra-aigua: No es contempla pels mateixos motius explicats en la refrigeració.
 - Aigua-aigua: és la que presenta millors intercanvis de calor però queda descartada per les mateixes raons que la aigua-aire, en no disposar de font d'aigua exterior.

- Aire-aigua: Sol ser la opció més escollida en el cas de calefacció per la seva facilitat en la instal·lació, la durada sense incidències dels radiadors i la bona eficiència energètica que presenta. L'inconvenient és que no es pot aprofitar el condensador de la calefacció com a evaporador de la refrigeració en el cas de voler-se fer servir com a màquina reversible.

Fent comparacions, els dubtes es presenten entre escollir una calefacció aire-aire o aire-aigua pels motius citats anteriorment. Però finalment s'ha decidit optar per la segona, ja que presenta unes molt bones característiques, com bé s'ha dit, i, contemplant l'inconvenient de la reversibilitat, s'ha arribat a la conclusió que no suposa un factor tan determinat en el projecte d'estudi el fet d'haver d'instal·lar un evaporador per la refrigeració fora dels intercanviadors condensadors de la calefacció, pel fet que és una residència a escala força reduïda sense una necessitat d'instal·lació molt gran, com seria el cas de indústries, oficines, etc. Per tant el cost d'instal·lació extra es veurà compensat per la millora en l'eficiència.

Així doncs, s'instal·larien radiadors portadors d'aigua calenta, que hauria sigut escalfada en un bescanviador intercanviant calor amb el condensador, en el cas de la calefacció. Per fer un escalfament uniforme, es situarà un radiador de 6 elements a cada habitació i un al passadís de dalt, i per altra banda un gran de 10 a 12 elements a la sala d'estar per escalfar bé tota la zona.

Per altra banda, en la refrigeració s'invertiria el sentit del flux, i la vàlvula de quatre vies, redirigiria el fluid cap a un nou bescanviador, que faria d'evaporador i estaria situat a una zona alta dins la sala d'estar, el qual intercanviaria calor amb l'aire de la sala, impulsat per un ventilador i un sistema de toveres i difusors. La idea bàsica és que en forçar el moviment de l'aire la transferència de calor es fa sobre una massa renovable d'aire, arribant a refredar tota la sala més ràpidament i de manera més homogènia.

El condensador/evaporador segons sigui refrigeració o calefacció, també serà comú i estarà situat a fora per intercanviar calor amb l'ambient.

L'acumulador de calor estarà situat al lavabo de la planta de dalt, per poder estar a una temperatura constant i més o menys càlida (com s'ha esmentat en el seu apartat) i també per estar més proper al sostre on es situaran els captadors solars. D'aquesta manera, en haver-hi tan sols uns 3 m aproximadament de diferència entre un i l'altre, el treball que hagi de fer la bomba per tornar el líquid caloportador de nou cap a dalt a la placa serà mínim, i podrà ser negligit. Les vàlvules de l'acumulador, una estarà connectada a la xarxa d'aigua habitual per ser omplert de nou, i l'altra cap a la dutxa per portar l'aigua calenta.

Finalment pel que fa als captadors solars, s'ha dissenyat la instal·lació a partir de les

referències extretes de la normativa:

A continuació es mostra un gràfic amb la normativa que ha de complir un captador per ser instal·lat complint tots els requisits visuals [16]:

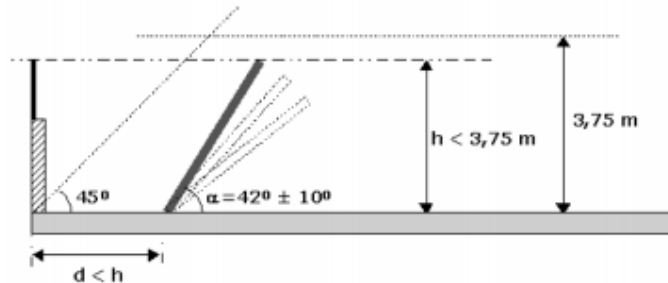


Figura 10.1. Distàncies i angles màxims que ha de complir per normativa una instal·lació de captadors segons la normativa de la referència [16].

Per tant, en el cas present, per complir amb la normativa vigent, en tenir 2 captadors solars de 1x2 m cada un (amplada x alçada), es disposaran junts en un angle de 45° (dins el rang), complint per tant amb una alçada total h de 1,41 m ($< 3,75$) i a una distància de l'extrem de la teulada de 1 m ($1 \text{ m} < 1,41 \text{ m}$). D'aquesta manera es compleix amb la normativa, i la instal·lació es pot realitzar de manera legal.

També cal destacar que es permet un escalfament màxim de l'aigua fins a 60°C [16], valor superior al d'aquest projecte.

SISTEMA DE CONTROL

Per assegurar un bon funcionament del sistema, és necessari implementar un sistema de control que faci treballar al punt de funcionament tots els elements a partir de l'error que tregui de comparar les dades ambientals (del moment) mesurades amb uns sensors (termòmetre, baròmetre, etc) amb les desitjades.

Això implicaria la creació d'un nou projecte, per tant no s'entrarà en detalls però sí que s'explicarà en què consistirà per donar una idea del funcionament.

Bàsicament, el sistema pretén ser automàtic, de manera que en el cas que es redueixi o se superin les temperatures respecte les desitjades, un sensor ho detecti i faci funcionar el compressor (en el cas de la climatització) al règim de treball que toca per arribar al valor escollit. Això aniria acompanyat del fet que, en el bescanviador de fora, s'implementaria un

ventilador que fes circular l'aire exterior a la velocitat necessària, potenciant la convecció forçada, perquè l'intercanvi entre aquest i el refrigerant sigui el calculat en el projecte, i s'arribi als punts de saturació i temperatura estudiats. D'aquesta manera, els 10°C suposats en la diferència de temperatures entre medis, podran ser exactes a partir del més o menys treball aportat al ventilador (en no poder variar la longitud del tub bescanviador per variar l'intercanvi de calor), sempre verificat per un sensor de temperatura.

En cas que es desitgés, o hi hagués un mal funcionament, sempre hi hauria la opció de fer el canvi manualment.

11. BALANÇ D'ENERGIA ELÈCTRICA CONSUMIDA

Primer de tot s'ha de calcular el que gasten els electrodomèstics, així com la cuina i les bombetes.

S'han considerat un temps de il·luminació per a cada bombeta segons la seva posició i funció tenint en compte les hores de Sol. Com que aquestes varien al llarg de l'any s'ha pres la hipòtesi de que el valor escollit serà la mitjana entre els dos mesos més extrems (quan hi ha més i menys Sol), en els quals en un cas serà fosc i, per tant, s'il·luminarà la casa a partir de les 18 hores i en l'altre a partir de les 21 hores. Per tant, tenint en compte que aquestes s'apagaran a les 0 hores, el valor mig d'il·luminació màxim per part de les bombetes resulta de 4,5 hores (entre 6 i 3 hores). Tenint en compte, com s'ha dit abans l'ús de cada una depenent de l'hàbit en l'habitació on és, s'ha construït la taula següent que conté la potència mitjana consumida, i l'energia anual:

Taula 11.1. Energies consumides en la il·luminació.

Ubicació bombeta	Potència nominal (W)	nombre bombetes	Temps encesa (h)	Potència mitjana (W)
Menjador	150	1	4,5	28,13
Menjador	50	1	1	2,08
Menjador	13	2	2	2,17
Menjador	5	4	4,5	3,75
Cuina	5	3	1	0,63
Dormitori 1	5	4	1	0,83
Dormitori 2	5	2	1	0,42
Dormitori 3	5	2	1	0,42
Lavabo planta baixa	5	2	0,5	0,21
Lavabo pis de dalt	5	3	0,5	0,31
Exterior	5	2	4,5	1,88
Passadissos	5	4	1	0,83
Potència mitjana consumida en un dia (W)				41,65
Energia consumida anual (kWh)				364,82

Pel que fa al total d'electrodomèstics (cuina inclosa) s'han tingut en compte també les hores diàries d'us, així com les seves potències nominals o estats de funcionament en estar treballant diferent (ex: rentaplats treballa en estat ecològic i no de màxim rendiment). Per tant es té la següent taula amb el balanç corresponent:

Taula 11.2. Energies consumides dels electrodomèstics.

Electrodomèstic	Potència nominal (W)	Temps d'ús per període (min)	Període d'ús (dies)	Potència mitjana (W)
Rentaplats	2000	120	2	83,33
Rentadora	2200	60	3	30,56
Nevera	160	1440	1	160
Cuina	2200	40	1	61,11
Forn	2593	20	2	18,01
Campana	270	40	1	7,5
Microones	1200	5	1	4,17
Televisió	100	180	1	12,5
Potencia mitjana consumida en un dia (W)				377,17
Energia consumida anual (kWh)				3304,04

A partir d'aquí se li ha de sumar l'energia consumida pel compressor per cada mes, segons com treballi i si és com a calefacció o refrigeració.

Partint dels estudis duts a terme, a partir de compressor escollit, i les potències a les que treballa respecte la màxima nominal, s'ha triat un rendiment electromecànic del 80% quan fa de calefacció, i del 90% en el cas de refrigeració a partir de les dades extretes de la referència [9].

Taula 11.3. Energies consumida en climatització.

Mes	Calefacció (kW)	Refrigeració (kW)	Rendiment de calefacció	Rendiment de refrigeració	Energia consumida (kWh)	dies del mes (d)
Gener	0,946	0	0,8	0	879,78	31
Febrer	0,892	0	0,8	0	749,28	28
Març	0,841	0	0,8	0	782,13	31
Abril	0,82	0	0,8	0	738	30
Maig	0,428	0	0,8	0	398,04	31
Juny	0	0,073	0,8	0,9	58,3416	30
Juliol	0	0,077	0	0,9	63,58968	31
Agost	0	0,078	0	0,9	64,41552	31
Setembre	0,408	0	0,8	0	367,2	30
Octubre	0,435	0	0,8	0	404,55	31
Novembre	0,875	0	0,8	0	787,5	30
Desembre	0,928	0	0,8	0	863,04	31
Energia consumida anual (kWh)					6155,8668	

A aquests valors se'ls ha de sumar el consum elèctric generat per l'escalfador elèctric auxiliar, considerat prèviament en el càlcul de l'aigua sanitària, el qual té un valor anual de **1,776 kWh**.

Per tant si realitzem la suma de totes les despeses en la xarxa elèctrica, es té un valor final de **9826,5 kWh** per any.

ANÀLISI DELS RESULTATS

Si es compara amb qualsevol exemple de casa unifamiliar amb residència contínua concorda bastant amb els resultats obtinguts. L'energia consumida en la xarxa ronda els

10000 kWh en un cas estàndard, en la qual hi ha instal·lada una bomba de calor. Comparant amb un cas semblant extret d'Internet, es pot veure com, fora d'un ús semblant d'electrodomèstics, il·luminació, etc, es té un consum en calefacció i refrigeració lleugerament superior en aquest projecte, però no prou significatiu com per no ser considerat acceptable. Cal tenir en compte que les condicions tant geomètriques com climàtiques de la casa d'estudi són més desfavorables.

La comparació anual amb la despesa actual del propi habitatge, malauradament no és possible realitzar-la de forma exacta, ja que no té una ocupació diària i de persones constant com s'ha volgut plantejar en aquest projecte. Però sí que es pot, suposant un correcte càlcul dels electrodomèstics i il·luminació (ja que no ha variat respecte el cas inicial), comparar directament la climatització. Actualment, fet de manera aproximada i tenint en compte les suposicions de les hores de funcionament del cicle cada mes, es té una despesa en calefacció de **11256 kWh** (prenent com a valor nominal de cada radiador a 1000 W). Pel que fa a l'aigua calenta, actualment l'escalfador elèctric consumeix una potència nominal de 2200 W (vist en apartats anteriors), que treballant al règim de dutxes esmentat a l'apartat 8, té un consum aproximat **5840 W**. Per tant, amb la implementació proposada en el projecte, si li sumem els consums de tots els elements de la casa, calculats en aquest apartat (electrodomèstics i llums no varia respecte el cas d'estudi), actualment es té un valor total de **20764,86 kWh**, un valor excessivament alt (òbviament no real, ja que per ara no té una presència contínua, en ser una segona residència).

Així que comparant el consum en climatització i aigua dels dos casos es té finalment:

$$\frac{9826,5 \text{ kWh}}{20764,86 \text{ kWh}} \cdot 100 = 47,32\%$$

Amb la implementació del projecte, es passaria a consumir el **47,32%** del cas actual. Es pot veure com el consum disminueix a la meitat del que hi hauria amb el sistema actual, així que es pot dir que les solucions proposades al projecte són encertades.

S'ha de considerar que, no es té en compte l'estufa auxiliar de querosè a la sala d'estar, per tant aquest valor també seria més beneficiós.

Cal dir que, tot i la implementació d'aire condicionat respecte el cas inicial, que suposaria una despesa extra, no es té una pujada de consum gaire significativa, per tant es una opció encertada.

POTENCIA CONTRACTADA

Cal destacar també la possibilitat de disminuir la potència fixa contractada (actualment de **6,6 kW**). A partir dels números presentats anteriorment es considerarà una situació normal de funcionament, en els moments d'alt nivell energètic. Per això s'ha seleccionat per exemple un dia d'agost a les 14 h mentre es fa el dinar i l'aire condicionat està treballant a règim nominal (la il·luminació durant el dia serà mínima i de totes maneres té molt poc impacte, per tant no es considera):

Taula 11.4. Potència instantània al mes d'agost.

Electrodomèstic	Potència (W)
Nevera	160
Refrigeració	1240
Televisió	100
Cuina (2 fogons)	2200
SUMA (W)	3700

Contràriament, s'ha escollit també un dia de gener a les 22 h fent el sopar amb la calefacció treballant a règim nominal (en aquest cas si que hi ha il·luminació i es consideren enceses les llums del menjador (2x13 W), la sala d'estar (150W + 3x5 W) i la cuina (3x5 W), fora de les exteriors (2x5 W):

Taula 11.5. Potència instantània al mes de gener.

Electrodomèstic	Potència (W)
Il·luminació	216
Nevera	160
Calefacció	946
Televisió	100
Cuina (2 fogons)	2200
SUMA (W)	3622

Com es pot veure, com a molt es presenta una potència instantània de 3,7 kW. Considerant les diverses tarifes a contractar, de les que disposa l'empresa, les quals són:

Deixant un marge de seguretat en el cas que s'arribi a un consum lleugerament superior, es pot afirmar que, com que actualment amb l'empresa contractada les tarifes varien amb el següent patró (3,3, 4,4, 5,5... [kW]) [13] podria ser contractada una potència fixa de **4,4 kW**, substituint l'actual i millorant econòmicament la situació.

Per últim si es té en compte el preu del kWh mitjà en llocs domèstics durant el 2017, extret de la referència de la companyia contractada actualment [13], el qual té una valor a Espanya de 0,1404 €/kWh, dona una despesa total anual en electricitat de **1429,44 €**.

12. PRESSUPOST

Si es considera el que s'hauria de pagar en mà d'obra pel que fa al disseny, es veu com aquest projecte ha estat dissenyat i estudiat únicament per un operari, al qual se li atribueix el grau d'Enginyeria en Tecnologies industrials. Tenint en compte que la dedicació de manera aproximada ha estat de 4 hores al dia al llarg d'un quadrimestre, al qual se li poden atribuir 4 mesos sencers (es consideren 22 dies feiners per mes), l'enginyer ha d'invertir un total de 352 hores de treball en el disseny del projecte. Per tant, considerant un salari de 15 €/hora treballada per part de l'operari es té el següent cost total:

Taula 12.1. Pressupost de mà d'obra.

Professió	Hores dedicades (h)	Salari (€/h)	Cost total (€)
Enginyer superior	352	18	6336

Per tants, es pot veure com s'ha de pagar un total de **5280 €** per mà d'obra en el disseny del projecte al llarg de tota la seva creació.

Per altra banda, l'enginyer ha de disposar d'un ordinador portàtil amb prou capacitat i resolució amb el qual tenir accés a Internet, Microsoft Word, Microsoft Excel i el programa Solid Works. La llicència de la versió estàndard de Solid Works té un cost de 6600€ sense tenir en compte subscripció anual (en quatre mesos de projecte no és necessària), i a l'ordinador se li pot atorgar un cost de 600€.

Altres materials duts a terme en el disseny són materials barats quotidians que no farà falta incloure en el pressupost. A continuació es presenta el balanç definitiu:

Taula 12.2. Pressupost total.

Mà d'obra (€)	Aparells informàtics (€)	Llicències de programes (€)	Cost total (€)
6336	600	6600	13536

Per tant en cas de ser un projecte de disseny, on únicament es pretén dur a terme el disseny realitzat en aquesta memòria, el pressupost total és de **13536€**.

13. IMPACTE AMBIENTAL

L'impacte ambiental és sense cap mena de dubte un dels objectius principals del projecte, per tant s'ha dissenyat tenint-lo sempre en compte i tractant de minimitzar-lo al màxim sempre que es pugui. Per fer un estudi d'aquest es dividirà en dos parts: l'impacte ambiental de la instal·lació en sí, en el cas que es dugués a terme i l'impacte ambiental del disseny del projecte.

INSTAL·LACIÓ

Pel que fa al primer cas, el projecte pretén ser un esglaió de millora sostenible en un sistema com és l'habitatge estudiat, el qual no és beneficiós en aquest aspecte actualment. Ja només el fet de dissenyar tots els cicles amb l'objectiu de reduir al màxim l'energia elèctrica consumida de la xarxa és un intent per reduir l'ús de combustibles fòssil, nuclears o d'altres fonts no renovables de les quals prové gran part de l'electricitat avui en dia.

Tenint en compte el sistema d'aigua sanitària, aquí sí que s'ha prioritzat per sobre del nivell de màxim confort l'aspecte ambiental, ja que podent disposar d'un sistema elèctric mitjançant el qual es pugui escalfar tant com es vulgui l'aigua en qualsevol instant del dia consumint més potència elèctrica de la xarxa, s'ha optat per la que per ara és la font més prometedora en aquest àmbit com és l'energia termosolar. Molts habitatges nous ja comencen a construir-se amb una instal·lació termosolar que cobreixi part de l'energia necessària en l'escalfament de l'aigua, però no en cases construïdes al 1996. Es per això que aquesta implementació suposaria una evolució molt favorable pel que al medi ambient comporta, així com una disminució considerable de l'energia elèctrica consumida de la xarxa, i una despesa econòmica inferior. Per tant, s'ha impulsat l'estudi de la màxima capacitat que poden proporcionar col·lectors solars estàndards del mercat respectant la normativa actual a partir d'un estudi detallat de la radiositat incident, i s'ha pogut demostrar que fora de casos inusuals, la major part de la demanda d'aigua calenta en condicions normals pot ser coberta per aquest tipus d'energia, fet que suposa una dada molt positiva ambientalment.

Per altra banda també es pot fer un estudi d'altres elements fets servir en la implementació del projecte, com puguin ser màquines o canonades fetes de materials perjudicials per aquest, o fluids d'ús. Pel que fa a maquinària i elements estructurals, la instal·lació és força petita com perquè la fabricació d'aquesta pugui generar un consum energètic i un impacte ambiental considerable, ja que des del primer moment s'ha intentant simplificar al màxim la dimensió i la complexitat d'aquesta per evitar impactes necessaris. Pel que fa als materials,

generalment s'usa acer, que no presenta propietats nocives, i que tot i que la seva creació i manipulació si que genera un impacte sobre el medi ambient, s'està parlant, com s'ha mencionat anteriorment, de dimensions molt petites. Si que hi ha un punt crític que és el fluid refrigerant de la bomba de calor, que en cas de fuga i ser alliberat a l'atmosfera pot provocar contribucions en l'escalfament global. Aquest és un fet que s'ha intentat evitar des del primer moment, i ja de bon principi s'ha descartat l'ús dels refrigerants clorats i hidroclorats (alguns dels quals estan ja prohibits) [14], però complint les característiques del circuit hi havia altres aspectes que dificultaven molt més el funcionament d'aquest, implicaven dificultats en la seguretat (fet que no es podia contemplar) o que minvaven clarament l'eficiència, i això hauria suposat un increment molt considerable en el consum i, conseqüentment, en l'impacte ambiental.

Per tant, en cas d'implementació del projecte a la realitat, s'haurà d'implementar un bon sistema de canonades per evitar al màxim el risc de fugues (fet que ja s'ha contemplat en l'elecció de les característiques del flux), i així poder minimitzar l'impacte ambiental que aquest pugui causar.

DISSENY DEL PROJECTE

A l'hora de contemplar l'impacte que s'hagi pogut causar en el disseny d'aquest projecte s'ha de partir del fet que no s'ha dut a terme cap fabricació ni experimentació destacada. Bàsicament s'ha fet un ús continu d'un ordinador, tant de torre com portàtil, per executar programes, escriure i cercar informació. Això és cert que comporta un impacte ambiental en dos aspectes, un de directe i un indirecte. Primer, en totes les hores invertides fent ús dels aparells electrònics s'ha consumit una certa energia de la xarxa elèctrica que, com bé s'ha mencionat anteriorment, l'electricitat de la qual prové en gran part de la manipulació de fonts d'energia no renovables que produeixen un impacte pel que fa a l'esgotament d'aquestes com pel que fa a la contaminació i gasos despresos en la manipulació d'aquestes per a la generació elèctrica. Per altra banda, l'ordinador està format per components electrònics de materials, la manipulació dels quals i la seva fabricació poden portar efectes negatius cap al medi ambient, i això també s'ha de tenir en compte.

Pel que fa a possibles experimentacions únicament es pot haver gastat en el transport dels dos viatges cap a l'habitatge a estudiar, ja que les mesures es van fer amb un metre convencional i un làser electrònic però de consum molt baix.

Per últim, es pot considerar tota la quantitat de paper gastada en l'estudi de càlculs durant el disseny, que també té un impacte directe en el consum energètic i la contaminació de la fabricació d'aquest, així com en la desforestació.

Conclusions

Els objectius principals des de bon principi eren fer un estudi tèrmic d'un habitatge, per obtenir dades fiables i implementar un nou sistema de climatització i d'aigua sanitària que beneficiessin l'actual, molt rudimentari i amb molt marge de millora, des dels aspectes de l'eficiència, ambientals i econòmics.

En definitiva, es pot dir que el projecte ha respòs als objectius citats i planejats inicialment. Després d'un estudi exhaustiu del sistema sobre el que s'havia de treballar, s'han tret uns resultats que verifiquen la validesa de les alternatives proposades, com són la reducció significativa quantitativament i qualitativament del consum elèctric anual, fet que tant pels resultats finals del balanç energètic es pot veure de forma clara, la quasi total implementació d'una energia renovable com és la termosolar en el cas de l'aigua sanitària, la seguretat i funcionalitat del model final així com la reducció en costos a llarg termini si s'implementés el projecte a la realitat.

Després d'observar els resultats obtinguts, queda clar que en tenir la voluntat, podria ser implementat en el futur de manera factible, òbviament donant-li llavors més importància a la correcta instal·lació de tots els elements que el formen i al pressupost d'inversió que suposaria, però que podria ser una bona proposta d'estudi de cara al futur.

Per últim remarcar, que després d'aquest primer projecte, se li podrien proposar possibles millores com seria un estudi de la viabilitat en implementar un cicle de refrigeració per absorció amb font termosolar, que compliria encara més el requisit d'impulsar les energies renovables a nivell domèstic.

Agraïments

M'agradaria agrair al meu tutor José María Morancho Llena per haver acceptat la realització d'aquest treball i totes les aportacions que ha aportat pel seu disseny, tant per experiència professional com en la confiança dipositada en la seva realització.

També vull agrair de tot cor al suport continu que m'ha sigut donat per la meva família, que des de bon principi han confiat en la realització d'aquest projecte i les meves capacitats, així com també a la companyia i suport dels meus companys de grau amb qui, conjuntament, ens hem donat consells i ànims a l'hora de tirar endavant els nostres respectius treballs tots junts.

Bibliografia

- [1] ESTACIÓ METEOROLÒGICA L'ESTARTIT I TORROELLA DE MONTGRÍ. *Meteograma 2017*. Torroella de Montgrí, 2017. [Consulta: 14/03/2018] <http://meteolestartit.cat/wp-content/uploads/2018/01/meteograma-2017.pdf>
- [2] UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALÉNCIA. *Hoja de cálculo cargas térmicas*. València, 1968. [Consulta: 11/03/2018] <http://www.calculaconatecyr.com/tutoriales-cargas.php>
- [3] L. A. Bonals – Muntada. *Transferència de calor*. Barcelona: Escola Tècnica superior d'Enginyeria industrial de Barcelona, 2005. [Consulta: 04/03/2018]
- [4] GAS SERVEI S.A. *Fitxa tècnica refrigerants*. Barcelona, 2003. [Consulta: 26/04/2018] https://www.gas-servei.com/images/Ficha_tecnica_R134A.pdf
- [5] MINISTERIO DE LA PRESIDENCIA. *Real decreto de zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas*. Espanya, 2007. [Consulta: 15/05/2018] <https://boe.es/buscar/pdf/2007/BOE-A-2007-18397-consolidado.pdf>
- [6] F. J. Rey-Martínez / Velasco-Gómez. *Bombas de Calor y Energías Renovables en Edificios*, Madrid: Thompson, 2005. [Consulta: 26/02/2018]
- [7] CIEMAT. *Acceso a datos de radiación solar de España*. Madrid, 1951. [Consulta: 03/05/2018] <http://www.adrase.com/acceso-a-los-mapas/mapa-zona-peninsula.html>
- [8] C. Fontanel. *LA BOMBA DE CALOR fundamentos y aplicaciones*. Barcelona, 1982. [Consulta: 26/02/2018]
- [9] *The chemical engineering guide to compressors*. México City: McGraw Hill, 1987. [Consulta: 14/05/2018]
- [10] UNIVERSIDAD DE GRANADA (UGR). *Aula virtual proyecto fin de carrera de ingeniería química*. Granada, 2010. [Consulta: 10/05/2018] <http://www.ugr.es/~aulavirtualpfcig/Bbombasytuberias.html>
- [11] R. H. Warring. *Pump selection, systems and Applications*, Mordey, Surrey, 1977. [Consulta: 10/05/2018]
- [12] CIEMAT. *Acceso a datos de radiación solar de España*. Madrid, 1951. [Consulta: 03/05/2018] <http://www.adrase.com/acceso-a-los-mapas/mapa-zona-peninsula.html>

- [13] ENDESA S.A. *Precios regulados tarifas luz y gas*. Madrid, 1997. [Consulta: 11/06/2018] <https://www.endesaclientes.com/articulos/tarifas-reguladas-luz-gas.html>
- [14] MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE, MEDIO RURAL Y MARINO. *Normativa real para gases fluorados para usuario y propietarios de equipos de refrigeración o climatización*. Espanya, 2008. [Consulta: 15/05/2018] http://www.cni-instaladores.com/volcado/normativa/NotaInformativaUsuariosRefrigeraClimatizacion_v.19%2002%2011.pdf
- [15] AGÈNCIA D'ENERGIA DE BARCELONA. *Ordenanza solar térmica de barcelona*. Barcelona, 2006. [Consulta: 15/05/2018] http://www.estif.org/fileadmin/estif/content/policies/STAP/BarcelonaSolarRegulation_FullReport_Spanish_includes_Fulltext_Newregulation_2006.pdf
- [16] GUÍA PARA EL DESARROLLO DE NORMATIVA LOCAL EN LUCHA CONTRA EL CAMBIO CLIMÁTICO. *Normativa sobre la energia solar*. Espanya, 1982. [Consulta: 15/05/2018] <http://www.caib.es/sacmicrofront/archivopub.do?ctrl=MCRST297ZI75916&id=75916>
- [17] JOSEP LLUÍS MARTÍN. *Apunts termodinàmica Refrigeració*. Barcelona, 2016 [Consulta:30/04/2018]